

D'ORDRE :
2482
Série A
N° 1616

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Reza RADMANECHE

Licencié ès sciences
Ingénieur électro-mécanicien (I. T. N.)
diplômé de l'analyse supérieure
et calcul des probabilités physiques-mathématiques

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA CONDUCTIBILITÉ
ÉLECTRIQUE DU QUARTZ. INFLUENCE DE LA TEMPÉ-
RATURE ET DES RAYONS ULTRAVIOLETS.

2^e THÈSE. — LA SUPRACONDUCTIBILITÉ.

Soutenues le 29 janvier 1936, devant la Commission d'Examen.

MM. FABRY, *Président.*
E. DARMOIS } *Examineurs.*
F. CROZE }

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR

LIBRAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55

1936

D'ORDRE :
2482
Série A
N° 1616

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Reza RADMANECHE

Licencié ès sciences
Ingénieur électro-mécanicien (I. T. N.)
diplômé de l'analyse supérieure
et calcul des probabilités physiques-mathématiques

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA CONDUCTIBILITÉ
ÉLECTRIQUE DU QUARTZ. INFLUENCE DE LA TEMPÉ-
RATURE ET DES RAYONS ULTRAVIOLETS.

2^e THÈSE. — LA SUPRACONDUCTIBILITÉ.

Soutenues le janvier 1936, devant la Commission d'Examen.

MM. FABRY,	<i>Président.</i>
E. DARMOIS	} <i>Examineurs.</i>
F. CROZE	

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR

LIBRAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Quai des Grands-Augustins, 55

1936

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

MM.

Doyen honoraire..... M. MOLLIARD.

Doyen..... C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

<i>Professeurs honoraires</i>	H. LE CHATELIER.	LÉON BRILLOUIN.	AUGER.
	H. LEBESGUE.	GOUSAT.	BLAISE.
	A. FERNBACH.	WALLERANT.	DANGEARD.
	A. LEDUC.	GUILLET.	JANET.
	Émile PICARD.	PECHARD.	LESPIEAU.
	Rémy PERRIER.	FREUNDLER.	MARCHIS.
			VESSIOT.

PROFESSEURS

G. BERTRAND.....	†	Chimie biologique.	M. JAVILLIER.....	Chimie biologique.
M. CAULLERY.....	†	Zoologie (Évolution des êtres organisés).	L. JOLEAUD.....	Paléontologie.
G. URBAIN.....	†	Chimie générale.	ROBERT-LÉVY.....	Zoologie.
Émile BOREL.....	†	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	F. PICARD.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
Jean PERRIN.....	†	Chimie physique.	Henri VILLAT....	† Mécanique des fluides et applications.
H. ABRAHAM.....	†	Physique.	Ch. JACOB.....	† Géologie.
E. CARTAN.....	†	Géométrie supérieure.	P. PASCAL.....	† Chimie minérale.
M. MOLLIARD.....	†	Physiologie végétale.	M. FRÉCHET.....	† Calcul des probabilités et Physique mathématique.
L. LAPICQUE.....	†	Physiologie générale.	E. ESCLANGON ...	† Astronomie.
A. COTTON.....	†	Recherches physiques.	M ^{me} RAMART-LUCAS.	† Chimie organique.
J. DRACH.....	†	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	H. BÉGHIN.....	† Mécanique physique et expérimentale.
Charles FABRY...	†	Enseignement de Physique.	FOCH.....	Mécanique expérimentale des fluides.
Charles PÉREZ...	†	Zoologie.	PAUTHENIER.....	Physique (P. C. B.).
Léon BERTRAND..	†	Géologie structurale et géologie appliquée.	De BROGLIE.....	† Théories physiques.
P. PORTIER.....	†	Physiologie comparée.	CHRÉTIEN.....	Optique appliquée.
E. RABAUD.....	†	Biologie expérimentale.	P. JOB.....	Chimie générale.
M. GUICHARD.....		Chimie minérale.	LABROUSTE.....	Physique du Globe.
Paul MONTEL...	†	Théorie des fonctions et théorie des transformations.	PRENANT.....	Zoologie.
P. WINTREBERT..	†	Anatomie et histologie comparées.	VILLEY.....	Mécanique physique et expérimentale.
L. BLARINGHEM..	†	Botanique.	BOHN.....	Zoologie (P. C. B.)
O. DUBOSQ.....	†	Biologie maritime.	COMBES.....	Botanique.
G. JULIA.....	†	Application de l'analyse à la géométrie.	GARNIER.....	Calcul différentiel.
C. MAUGUIN.....	†	Minéralogie.	PÉRÈS.....	Mécanique des fluides.
A. MICHEL-LÉVY..		Pétrographie.	HACKSPILL.....	Chimie (P. C. B.).
H. BÉNARD.....	†	Mécanique expérimentale des fluides.	LAUGIER.....	Physiologie générale.
A. DENJOY.....	†	Calcul différentiel et calcul intégral.	TOUSSAINT.....	Technique Aéronautique.
L. LUTAUD.....	†	Géographie physique et géologie dynamique.	M. CURIE.....	Physique (P. C. B.).
Eugène BLOCH...	†	Physique théorique et physique céleste.	G. RIBAUD.....	† Hautes températures.
G. BRUHAT.....		Physique.	CHAZY.....	† Mécanique rationnelle.
E. DARMOIS.....		Physique.	GAULT.....	Chimie (P. C. B.).
A. DEBIERNE.....	†	Radioactivité.	CROZE.....	Physique.
A. DUFOUR.....	†	Physique (P. C. B.).	DUPONT.....	† Théories chimiques.
L. DUNOYER.....		Optique appliquée.	LANQUINE.....	Géologie.
A. GUILLIERMOND.	†	Botanique (P. C. B.).	VALIRON.....	Mathématiques.
			BARRABÉ.....	Géologie structurale et géologie appliquée.
			MILLOT.....	Zoologie (P. C. B.).
			F. PERRIN.....	Théories physiques.
			VAYON.....	Chimie organique.

Secrétaire..... A. PACAUD.

Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK.



A MON MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR CH. FABRY

MEMBRE DE L'INSTITUT

Hommage de mon profond respect
et de ma plus vive reconnaissance.

A MON MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR E. DARMOIS

Ma plus profonde reconnaissance
pour l'intérêt constant qu'il a pris
à ce travail, et pour les conseils
précieux qu'il m'a prodigués.

PREMIÈRE THÈSE.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DE LA

CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DU QUARTZ.

INFLUENCE

DE LA TEMPÉRATURE ET DES RAYONS ULTRAVIOLETS.

INTRODUCTION.

Les célèbres travaux de Pierre et Jacques Curie ont abouti aux lois fondamentales de la conductibilité électrique dans les cristaux diélectriques. Depuis, plusieurs auteurs ont contribué au développement de ce sujet par suite de son importance tant au point de vue théorique que pratique, parmi eux il faut citer surtout les noms de Röntgen et A.-F. Joffé et ses collaborateurs.

Ce qui caractérise la conductibilité électrique de ces substances c'est qu'elle diminue en fonction du temps de charge, on attribue ceci à un effet de polarisation dont la grandeur dépendrait à la fois du potentiel et de la température; cette polarisation est due très vraisemblablement

à la déformation de la distribution de potentiel pendant le passage de courant.

On ne peut pas, en général, parler d'une résistivité spécifique de ces cristaux diélectriques, car la conductibilité d'une même substance peut varier d'un échantillon à un autre.

Diverses causes peuvent modifier dans un rapport plus ou moins grand la conductibilité des cristaux diélectriques; parmi elles il faut citer surtout la variation de la température, l'action des rayons ultraviolets, rayons X, rayons γ , etc.

Tandis que l'élévation de la température diminue la conductibilité des métaux, elle augmente au contraire dans un très grand rapport la conductibilité des cristaux diélectriques; suivant A. Joffé cette augmentation de la conductibilité suit une loi exponentielle dans un intervalle assez grand de température.

Plusieurs auteurs ont constaté qu'à partir de températures relativement élevées la loi de variation pour quelques-unes de ces substances est la somme de deux termes exponentiels dont l'un est négligeable tant que la température n'est pas trop grande; ceci est attribué à l'intervention d'un nouvel agent de transport de charge à température élevée.

Les mesures relatives à la conductibilité électrique du quartz n'avaient pas été faites aux températures élevées; après avoir confirmé les résultats antérieurs relatifs à cette substance nous avons pu pousser les mesures aussi bien aux très basses qu'aux très hautes températures. En outre nous avons étudié l'action des rayons ultraviolets sur la conductibilité électrique du quartz.

Dans un premier chapitre, nous exposons les détails techniques de nos appareils et les procédés de mesure;

dans le deuxième, nous présentons les faits généraux relatifs à la polarisation et à la variation de la conductibilité électrique en fonction du potentiel; aux troisième et quatrième chapitres seront exposés des détails expérimentaux et les résultats des mesures aux basses et aux hautes températures; au cinquième, nous donnons nos résultats relatifs à l'action des rayons ultraviolets sur la conductibilité électrique, et enfin, au sixième, nous tenterons d'interpréter nos résultats.

CHAPITRE I.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET MÉTHODE DE MESURE.

On sait que, quand on établit une différence de potentiel entre les deux faces d'une lame de quartz, on constate, comme pour les autres substances diélectriques, le passage d'un courant qui diminue quand le temps de charge augmente; cette diminution est rapide au début et ensuite de plus en plus lente ⁽¹⁾. D'autre part une petite variation de température modifie dans un très grand rapport la conductibilité électrique du quartz. Il nous a fallu donc réaliser un dispositif qui permette de faire des mesures pendant des temps très courts et pour un très grand intervalle de courant (de 10^{-14} à 10^{-2} ampère environ).

Jacques Curie pour toutes ses expériences relatives aux mesures de pouvoir inducteur spécifique et de conductibilité électrique des cristaux s'est servi de la méthode du quartz piézo-électrique découverte par son frère et lui-même; comme ce dispositif ne permettait pas la mesure des courants relativement grands, il réduisait l'intensité du courant en augmentant l'épaisseur des lames ou en diminuant la différence de potentiel entre les armatures. Il n'a d'ailleurs pas dépassé la température de 300° C.; ses mesures consistaient à étudier les lois de la polarisation

(1) Voir Chapitre II.

des cristaux semi-conducteurs aux différentes températures et non pas la loi de variation du courant en fonction de la température.

Par suite de l'excellente sensibilité et de la bonne précision de l'appareil piézo-électrique, ce dernier est devenu d'un usage permanent pour la mesure des courants faibles, dans les laboratoires de radioactivité; nous l'avons choisi pour toutes les mesures dans lesquelles le courant ne dépassait pas 10^{-11} ampère.

Pour ces courants, M. Joffé s'est servi de la méthode de vitesse de déplacement qui ne donne que des résultats comparatifs; la mesure du courant en valeur absolue nécessiterait un étalonnage compliqué sinon irréalisable. Il nous a semblé préférable d'abandonner cette méthode et utiliser celle du quartz piézo-électrique; malgré les difficultés de manipulation qui exigent un très grand soin et une longue habitude, cette méthode est par excellence, celle qui convient le mieux pour ce genre de mesures.

Le quartz piézo-électrique. — Le principe de cette méthode consiste à adjoindre à un électromètre à quadrants un appareil piézo-électrique dont l'organe essentiel est une lame de quartz taillée dans un très beau cristal; le plan de la lame est normal à l'un des trois axes électriques (*fig. 1*), l'axe optique est contenu dans le plan de la lame et dirigé parallèlement à sa largeur; à chaque extrémité de la lame est fixé un crochet métallique; le crochet supérieur permet la suspension de la lame, le crochet inférieur porte un plateau sur lequel on peut placer des poids variables.

Quand on ajoute ou on supprime des poids, la lame se polarise et par suite de cette polarisation il se crée sur les deux faces proportionnellement au poids ajouté ou supprimé des charges égales et de signe contraire, la charge

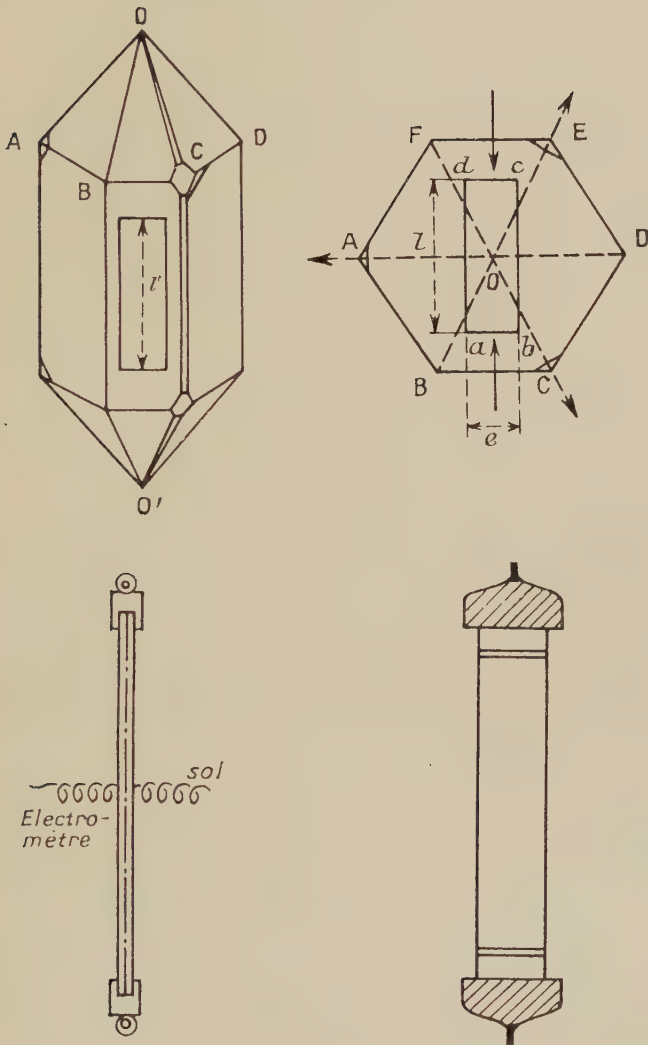


Fig. 1.

ainsi produite est donnée par la formule (1)

$$(1) \quad q = K \frac{L}{e} F,$$

où F est la force exercée, L la longueur de la lame, e son épaisseur et K une constante qui diffère suivant l'échantillon du cristal utilisé.

La constante K est déterminée par un étalonnage préalable; une lame une fois étalonnée peut être utilisée indéfiniment; elle est inaltérable avec le temps.

Mesure des courants plus intenses (de 10^{-11} à 10^{-2}). — Pour la mesure de ces courants nous nous sommes servi de la méthode suggérée pour la première fois par Rutherford qu'on appelle habituellement méthode de déviation constante ou méthode de perte de charge.

Le principe de cette méthode consiste à relier aux quadrants isolés de l'électromètre à quadrants, non seulement le système dont on veut mesurer la conductibilité, mais aussi une extrémité d'une résistance dont l'autre bout est mis à la terre; la grandeur de cette résistance peut être changée suivant l'intensité du courant qu'on désire mesurer; la figure 2 présente le montage d'ensemble de notre dispositif de mesure.

Mode opératoire de mesure de courant par le procédé piézo-électrique. — Comme nous l'avons vu, ce procédé nous a servi pour les mesures des courants de 10^{-14} à 10^{-11} ampère. Pour cet intervalle de courant on supprime la résistance R en laissant ouvert l'interrupteur I_3 ; l'aiguille de l'électromètre est portée à un potentiel constant de 90 volts; une paire de quadrants est mise constamment à la terre et l'autre paire est reliée, d'une part, au système S dont on mesure la conductibilité et, d'autre part, à la face Q

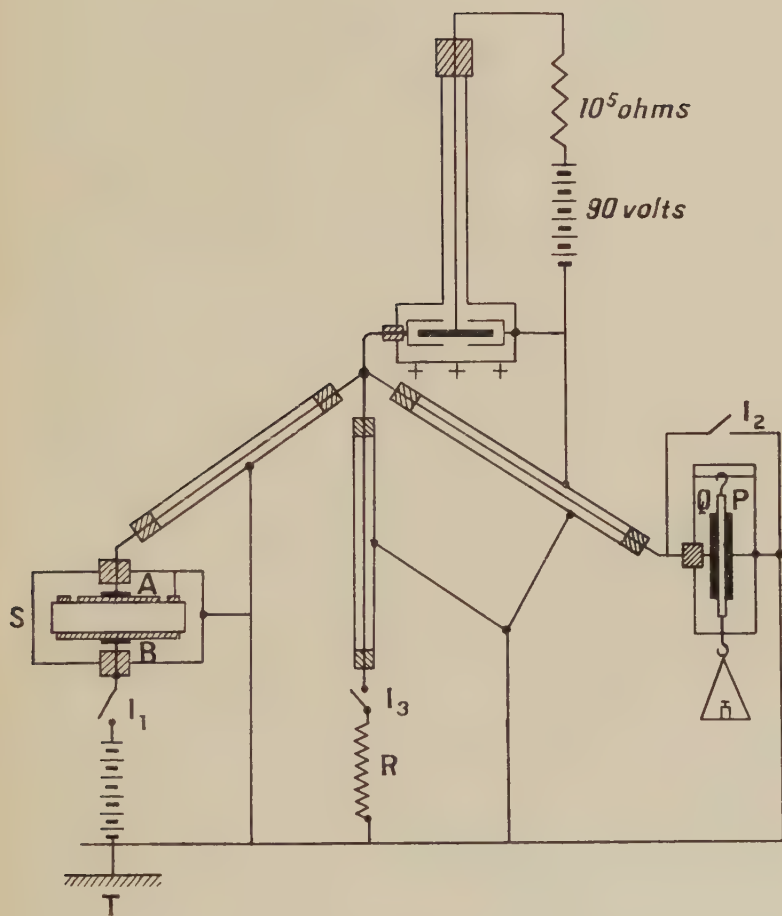


Fig. 2.

du quartz piézo-électrique; la face P est reliée constamment à la terre. L'interrupteur I_2 permet de relier les deux faces entre elles, mettant ainsi la face Q à la terre.

Le système S est un condensateur dont le diélectrique est la lame de quartz qu'on se propose d'étudier. L'armature A est reliée à l'électromètre, l'armature B peut être mise par l'interrupteur I_1 à un potentiel constant V volts.

Au début I_1 est ouvert et I_2 est fermé; on ferme brusquement I_1 et on ouvre presque au même moment I_2 ; le quadrant isolé commence à se charger, l'aiguille dévie. Quand le spot sur l'échelle passe devant une division arbitrairement choisie voisine du point de départ (division 5^{em} , par exemple), nous déclenchons un compte-secondes tenu dans la main gauche et au même instant la main droite soulève lentement le poids; la diminution graduelle du poids crée à la face Q une quantité de charge (on s'arrange pour qu'elle soit de signe contraire à celle développée sur l'armature A) qui compense peu à peu la charge envoyée par le système; on soulage le plateau de telle façon que le spot soit ramené à son point de départ, on l'y maintient en soulageant jusqu'au moment où, le poids étant entièrement enlevé, le spot repart dans la même direction que précédemment avec une vitesse initiale nulle; et l'on arrête le compte-secondes juste au moment où le spot repasse de nouveau devant la division choisie (5^{em} par exemple).

En portant le poids supprimé dans la formule (1) on obtient la charge compensée et, en divisant cette dernière par la durée t donnée par le compte-secondes, nous trouvons l'intensité du courant. Mais, à travers notre système, le courant n'étant pas constant pendant la durée de la mesure, il s'agit de savoir à quelle valeur de t (temps de mise en charge) correspond la conductibilité ainsi mesurée. Soit t_0 le temps écoulé depuis la mise en charge jusqu'au début

de la mesure et soit Δt la durée de la mesure, la valeur de i mesurée correspond à la conductibilité du temps de charge $t = t_0 + \frac{\Delta t}{2}$, Δt est petit, pour des valeurs faibles du temps de charge la correction $\frac{\Delta t}{2}$ est indispensable. Au contraire, on peut la négliger quand t_0 est grand.

Mesures des courants plus forts.

Méthode de déviation constante.

Pour les mesures des courants plus forts que 10^{-11} ampère, nous nous sommes servi comme nous l'avons indiqué au début de la méthode de déviation constante; à cet effet, on décroche la lame de quartz piézo-électrique et l'on ferme l'interrupteur I_3 , pour introduire la résistance R . A chaque mesure on isole le quadrant de l'électromètre en ouvrant I_2 et l'on porte au même moment l'armature B au potentiel constant V , en fermant I_1 ; le système S envoie graduellement des charges aux quadrants isolés, les charges ainsi envoyées élèvent le potentiel des quadrants isolés jusqu'à ce que le courant de conduction à travers la résistance R soit devenu égal au courant qui traverse S . En effet le courant de conduction à travers la résistance R est proportionnel au potentiel des quadrants isolés; au moment où l'équilibre sera atteint, c'est-à-dire quand l'aiguille arrive à sa déviation maximum, le courant à travers le système S est aussi proportionnel à cette différence de potentiel; on a ainsi un appareil simple à lecture directe et l'intensité du courant à travers le système à l'instant de l'équilibre sera donné par le quotient de v par R ($i = \frac{v}{R}$).

L'avantage de cette méthode réside dans le fait que les

mesures peuvent être exécutées entre de très grandes limites de courant, sans aucune difficulté et aussi rapprochées qu'on peut le désirer.

Remarque. — L'électromètre utilisé est l'électromètre à quadrants de Curie. Le montage est tel que la déviation α est donnée par la relation

$$\alpha = C(\nu^2 - 2V\nu),$$

où ν est la tension des quadrants isolés et V le potentiel de l'aiguille.

Le potentiel ν est toujours très petit, nous pouvons négliger le carré ν^2 devant $2V\nu$, nous obtenons ainsi

$$\alpha = K\nu;$$

cette relation est exacte pour des faibles déviations, elle est établie en supposant que tout est symétrique.

Pour nous affranchir des erreurs qui pourraient résulter de ces considérations, nous avons fait préalablement un étalonnage; la figure 3 donne la courbe d'étalonnage; on constate que, pour des petites déviations, il y'a bien proportionnalité entre les déviations et les potentiels ν ; nous nous sommes arrangés toujours en changeant la résistance R pour avoir de petites déviations. Ainsi notre dispositif peut être considéré comme exempt de toutes causes d'erreur.

Mesure de la température.

A cet effet nous nous sommes servi de deux couples thermoélectriques; l'un fer-constantan pour les basses températures et l'autre platine-platine iridié pour les températures élevées; ils ont été étalonnés à l'aide d'un millivoltmètre et des températures fixes suivantes.

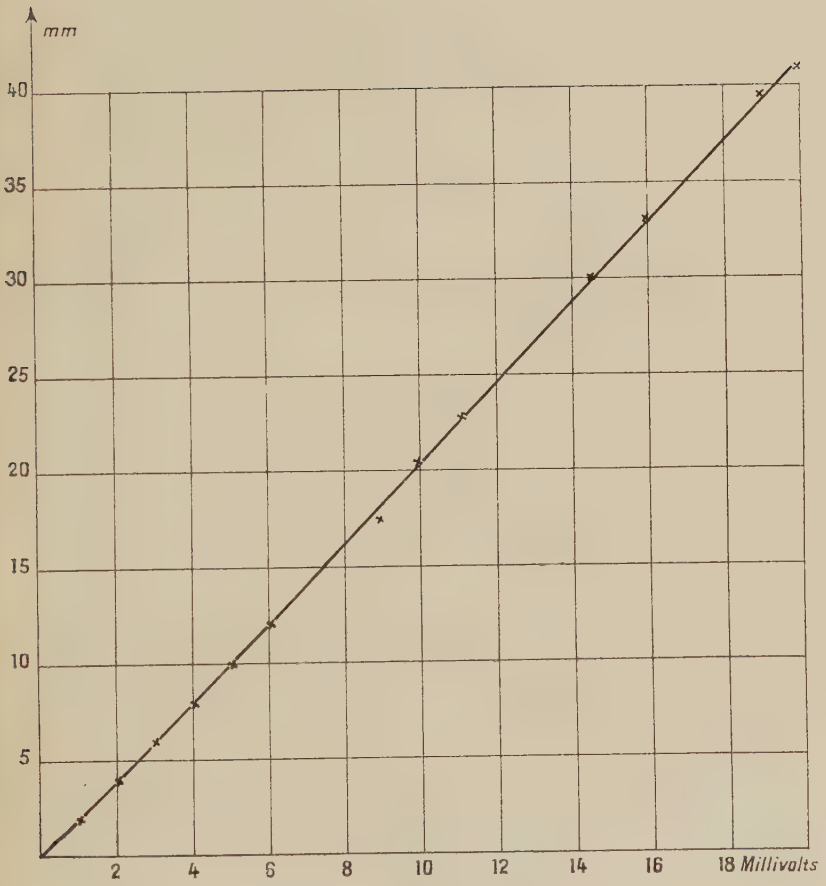


Fig 3.

1^o Couple fer-constantan.

Glace fondante.....	0
Ébullition du chlorure de méthyle.....	— 24,1
Solidification du mercure.....	— 39
» du monochlorure de benzène....	— 45,2
Neige carbonique.....	— 78
Azote liquide.....	— 195,5

2^o Couple platine-platine iridié.

Ébullition de l'eau.....	100
Fusion de l'étain.....	231
Ébullition du mercure.....	357
» du soufre.....	441
Fusion de l'antimoine.....	630

Les divisions du millivoltmètre étaient telles qu'on pouvait facilement lire le quart de division; chaque division correspond à 0,2 millivolt; ainsi, d'après nos courbes d'étalonnage, l'erreur absolue aux basses températures ne pouvait pas dépasser $\pm 2^{\circ}$ et pour les températures élevées $\pm 4^{\circ}$.

Pour protéger la soudure contre les actions extérieures et les chocs; elle a été placée dans un tube double de silice fondue, les fils étant séparés par une cloison également en silice fondue.

Résistance. — Les résistances très élevées dont nous nous sommes servi, qui ne dépassaient pas 10 mégohms, étaient en givrite; nous les avons étalonnées en les comparant à des résistances métalliques.

Tension. — Elle nous était fournie par des accumulateurs : à cet effet, nous avons construit douze batteries de 90 volts formées par des petits éléments de 2 volts.

CHAPITRE II.

LES FAITS GÉNÉRAUX.

Soit L (*fig. 1*) une plaque de quartz parallélépipédique dont les deux faces perpendiculaires à l'axe optique ont

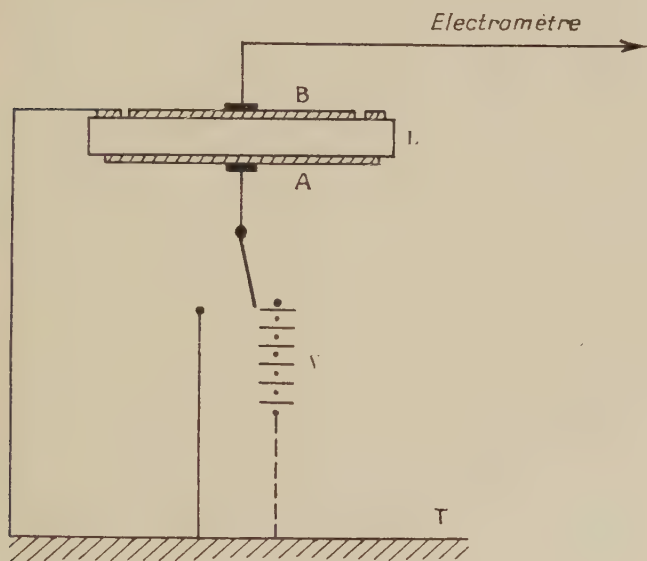


Fig. 1.

été rendues conductrices par un procédé quelconque (pulvérisation cathodique, procédé chimique, collage de feuilles minces métalliques); portons la face A au poten-

tiel V et relions la face B aux quadrants isolés de l'électromètre. Mesurons l'intensité du courant à partir de

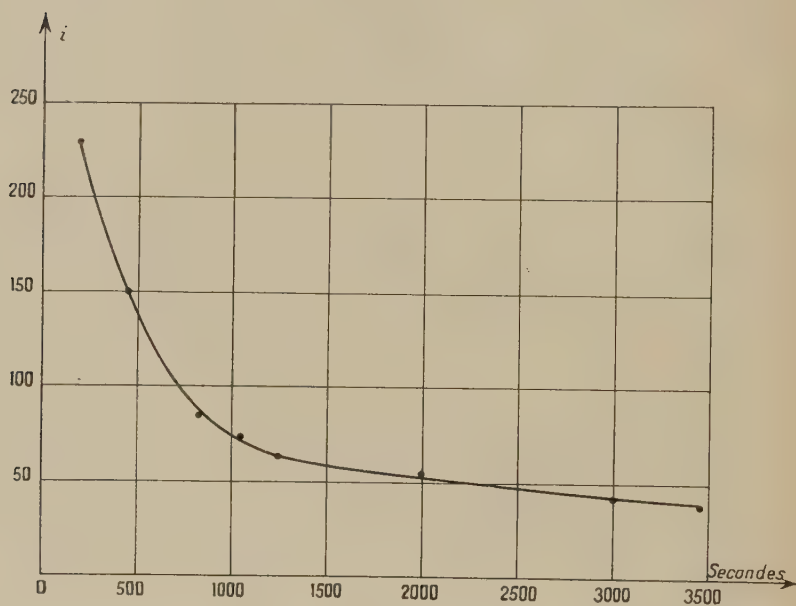


Fig. 5.

TABLEAU I.

Durée de mise en charge (en secondes).	Conductibilité.	Durée de mise en charge (en secondes).	Conductibilité.
190	230	1250	64
450	150	2000	55
805	83	2975	41
1050	75	3445	38

l'instant de mise en charge de la face A; on constate que l'intensité du courant qui traverse ce cristal ne reste pas constante : elle diminue d'abord très vite, puis de plus en plus lentement pour devenir stable au bout d'un temps très long.

Les valeurs du Tableau I correspondent à une lame de quartz de $100 \times 20 \times 12^{\text{mm}}$ avec des armatures en étain à la température de 17° sous le potentiel de 270 volts.

La figure 5 représente la variation du courant en fonction du temps correspondant aux valeurs du Tableau I.

L'action du potentiel. — L'intensité du courant augmente avec le potentiel de mise en charge. Pour l'intervalle de potentiel dans lequel nous avons opéré, il existe une proportionnalité parfaite entre ces deux grandeurs. Le Tableau II et la figure 6 sont relatifs à une lame de $30 \times 20 \times 3^{\text{mm}}$ et montrent l'allure linéaire de la variation du courant en fonction du potentiel appliqué à la lame.

TABLEAU II.

Potentiel (en volts).	Conductibilité (en unités arbitraires).	Potentiel (en volts).	Conductibilité (en unités arbitraires).
90	4,5	450	22,3
180	9,2	630	27
270	13,5	720	36
360	18	—	—

Le Tableau III et la figure 7 donnent les valeurs et les courbes de la variation du courant en fonction du temps

de mise en charge de la lame précédente à différents potentiels.

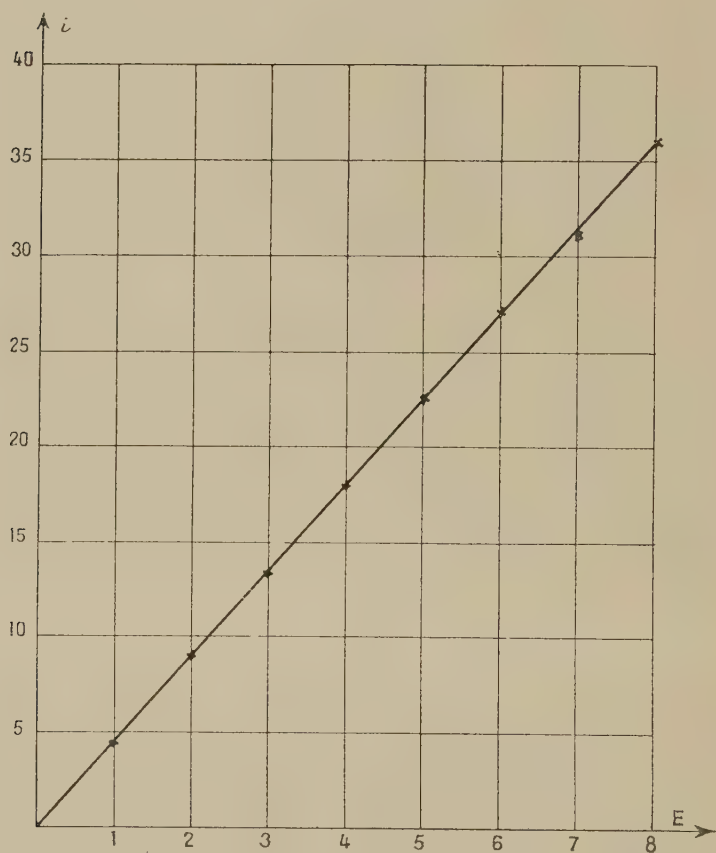


Fig. 6.

Étude comparative de différents échantillons de quartz.
— Deux lames de mêmes dimensions prises dans deux échantillons différents, toutes choses égales d'ailleurs, n'ont pas la même conductibilité électrique et c'est pour cela

TABLEAU III.

720 volts.		540 volts.		360 volts.	
Durée.	Courant.	Durée.	Courant.	Durée.	Courant.
0	36	0	26	0	18
4	35	3	25	2,5	17
6	34	5,5	24	6,5	16
8	33	10,5	23	12,5	15
13	32	30	22	30	14,5
18,8	31	60	»	60	»
25	30,5	—	—	—	—
60	»	—	—	—	—

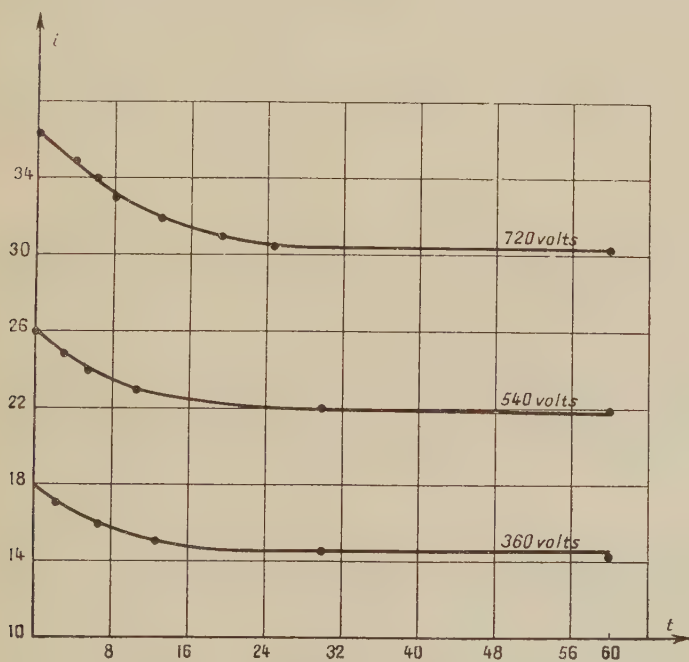


Fig. 7.

qu'on ne peut pas attribuer au quartz une résistivité spécifique. Celle-ci varie dans de grandes limites; au contraire, deux lames de mêmes dimensions provenant d'un même échantillon ont la même conductibilité électrique (*voir* le Chapitre IV).

Il est probable que la différence de conductibilité constatée pour des quartz de provenances diverses doit être attribuée à la proportion et au genre d'impuretés chimiques.

Polarisation. — I. Si, au bout d'un temps quelconque, on supprime brusquement la tension en mettant la face A (*fig. 4*) à la terre, le courant au lieu de s'annuler change de sens puis décroît rapidement vers zéro. L'allure du phénomène est donnée par la courbe (*fig. 8*).

Soient I_0 le courant initial, I_r le courant à l'instant t où l'on supprime la tension et I_p le courant de sens inverse qui se manifeste à ce moment; on a, en général,

$$I_0 = (I_r) + (I_p);$$

cette relation est exacte si le passage du courant ne modifie pas les propriétés du cristal, et si l'on n'est pas à une température trop élevée; en effet, nous avons remarqué ⁽¹⁾ qu'à partir de 300° environ le courant de sens inverse n'existe plus. A partir de cette température, quand on supprime le potentiel V et qu'on met la face A à la terre, le courant s'annule simplement sans changer de sens.

II. L'étude de la distribution de potentiel à travers la lame de quartz (Joffé) a montré que le passage du cou-

(1) *Comptes rendus*, t. 201, 1935, p. 448.

rant modifie la distribution du potentiel. A cet effet, on applique en différentes sections transversales de la plaque perpendiculairement au passage du courant des électrodes métalliques reliées chacune à un électromètre électrostatique; si l'on représente par une courbe l'indication de ces « sondes » en fonction des distances auxquelles elles sont

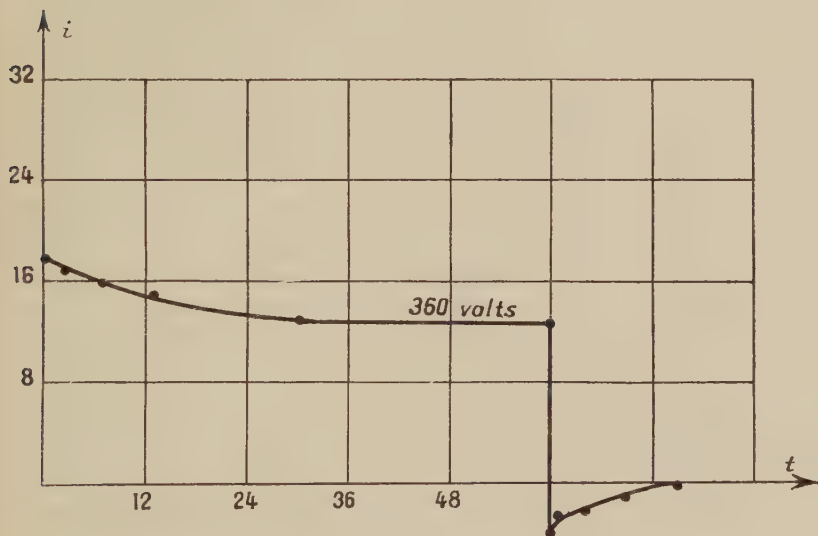


Fig. 8.

placées on trouve au début une distribution linéaire du champ électrique; après quelques minutes de passage de courant cette distribution se modifie et les indications des électromètres montrent une distorsion au voisinage des électrodes.

La figure 9 représente la forme de la distribution du potentiel dans une lame de quartz : la partie rectiligne correspond à la distribution au début de mise en charge et la courbe en pointillé la distribution après quelques

minutes de passage du courant; cette déformation de la distribution de potentiel a été attribuée à l'accumulation des charges spatiales au voisinage des électrodes.

Il se produit donc une force électromotrice de polarisation; le champ électrique E , au lieu d'être égal à $\frac{V}{D}$,

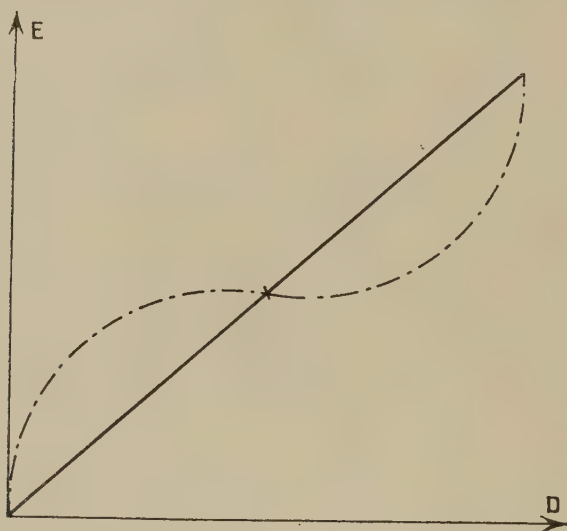


Fig. 9.

où D est l'épaisseur de la lame, est égal à $\frac{V-P}{D}$ et la conductibilité spécifique sera égale à

$$\sigma = \frac{I}{V-P} \frac{D}{S},$$

où I est l'intensité du courant et S la surface de la lame. La force électromotrice de polarisation P dépend du temps de mise en charge; c'est pour cela que, quand on parle

de la conductibilité électrique, il faut toujours spécifier à quel instant de mise en charge elle correspond.

Nature de la conductibilité électrique. — On ne peut pas toujours préciser la nature de la conductibilité électrique dans les cristaux diélectriques; elle peut être électronique, électrolytique, ou mixte.

La difficulté de préciser la nature des agents de transport de charge vient très souvent de la petitesse du courant qui ne permet pas l'observation directe des produits de l'électrolyse; on peut quelquefois éviter cette difficulté en élevant la température et obtenir ainsi des courants relativement grands qui permettent de constater le caractère de la conductibilité électrique; mais on n'est pas en droit d'extrapoler les résultats pour les températures plus basses : c'est là un sujet qui en l'état actuel de nos connaissances n'est pas entièrement éclairci. Cependant, pour le corps qui est l'objet de notre travail, il est très vraisemblable qu'on a affaire, au moins aux températures élevées, à une conductibilité électrolytique. Dans cette dernière hypothèse, on suppose que les réseaux cristallins sont formés d'ions; chacun est retenu à sa place par l'action électrique des autres ions qui l'entourent; sous l'effet de l'agitation thermique ces ions vibrent autour de leur position d'équilibre. Il arrive que certains d'entre eux acquièrent une énergie suffisante pour vaincre l'action électrique du milieu et devenir ainsi des ions libres. Ces ions libres sont animés d'un mouvement désordonné à l'intérieur du cristal jusqu'au moment où ils retrouvent une nouvelle position d'équilibre pour se fixer de nouveau.

L'élévation de température, l'action des rayons ultra-violets, α , β , γ et X augmentent le nombre des ions libres qui sous l'action d'un champ électrique se dirigent vers les électrodes.

L'examen de la distribution de potentiel à l'intérieur du quartz (*fig. 9*) montre que, au début, ces ions sont uniformément répartis à l'intérieur du cristal et après quelques minutes de passage du courant les ions positifs se réunissent à la cathode et les ions négatifs vont à l'anode; il y a, ainsi, une analogie parfaite avec le passage d'un courant à travers un gaz.

CHAPITRE III.

LES DÉTAILS TECHNIQUES ET LES RÉSULTATS DE MESURES AUX BASSES TEMPÉRATURES.

A cet effet nous nous sommes servi d'une lame de $100 \times 20 \times 12^{\text{mm}}$ prise dans un très beau cristal de quartz, taillée perpendiculairement à l'axe optique et sur les deux faces de laquelle étaient collées des feuilles très minces d'étain. Cette lame était suspendue, dans un cylindre de laiton (entièrement étanche et contenant comme matière desséchante un peu d'acide sulfurique), par deux fils de cuivre soudés légèrement sur les deux armatures et traversant des bornes isolées par de l'ambroïde. Le cylindre métallique étant mis à la terre, servant ainsi d'écran électrostatique, cet ensemble était placé dans un vase de Dewar rempli d'éther de pétrole (gazoline).

Pour refroidir le bain de gazoline, nous nous sommes servi du procédé indiqué par d'Arsonval : à cet effet, on plonge, dans le même vase de Dewar, un deuxième cylindre également en laiton de diamètre plus petit dans lequel on laisse tomber de l'air liquide goutte à goutte.

Pour obtenir l'écoulement de l'air liquide, on branche sur le petit tube métallique un siphon dont l'autre extrémité plonge dans un deuxième vase de Dewar argenté contenant de l'air liquide (*fig. 10*), on amorce le siphon à l'aide d'une poire en caoutchouc, et l'on règle le débit en serrant plus ou moins le tube de caoutchouc avec une

pince métallique à vis. On obtient ainsi une variation graduelle de la température du bain de gazoline.

Le refroidissement du cylindre qui contient la lame de quartz est ainsi uniforme, ce procédé permet de réaliser un refroidissement aussi lent qu'on le désire. Au centre du couvercle qui ferme le grand cylindre métallique se

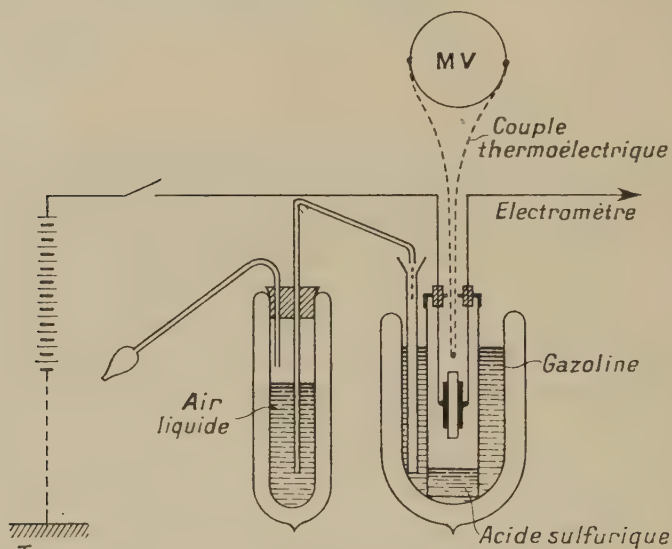


Fig. 10.

trouve un petit orifice par lequel on introduit le couple thermoélectrique. La soudure de celui-ci est placée aussi près que possible de la lame de quartz. Les deux bornes du couple sont connectées à un millivoltmètre dont la déviation nous donne la température de la lame. Les bornes isolées, qui servent à la suspension de la lame, servent en même temps à la connection des électrodes avec le dispositif de mesure. A cet effet, l'une est reliée

par un fil métallique passant à travers un tube en laiton dont la paroi est mise à la terre (écran électrostatique) au quadrant isolé de l'électromètre et l'autre est reliée par l'intermédiaire d'un interrupteur aux accumulateurs qui servent à charger la lame.

La figure 10 donne la vue d'ensemble du montage. Nous avons fait descendre la température jusqu'à -64° environ. Au-dessous de cette température, le courant devenait trop faible pour pouvoir être mesuré avec le dispositif piézo-électrique (poids limite atteint $0,5^g$).

La figure 11 représente le résultat des mesures : on a

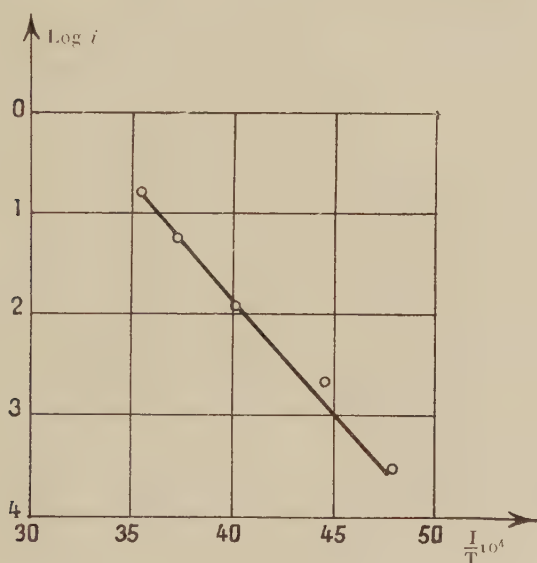


Fig. 11.

porté en abscisse l'inverse de la température absolue multiplié par 10^4 et en ordonnée le logarithme de la conductibilité; on constate que le phénomène, pour cet intervalle de température, suit exactement la loi exponentielle. Pour

revenir à l'état initial on coupe l'écoulement de l'air liquide, l'échauffement se fait ainsi très lentement; une fois revenue à la température de départ la lame reprend exactement sa conductibilité initiale.

Pour voir s'il n'y aurait pas une anomalie quelconque aux températures plus basses, nous avons enlevé la gazoline et nous avons versé directement l'air liquide dans le vase de Dewar : on a fait ainsi descendre la température jusqu'au voisinage de la température de l'air liquide, aucune anomalie n'a été constatée, et, au retour à la température initiale, la lame restait intacte.

TABLEAU IV. — *Lame n° 1* ($100 \times 20 \times 12^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (U. E. S.).	Log $i.$
10.....	283	35,33	0,1666	$\bar{1},224$
— 4.....	269	37,17	0,0595	$\bar{2},774$
—24.....	249	40,16	0,0122	$\bar{2},086$
—48.....	225	44,44	0,0023	$\bar{3},361$
—64.....	209	47,84	0,0003	$\bar{4},474$
d. d. p. = 360 volts. Durée de l'expérience : 2 heures. Armatures en étain.				

CHAPITRE IV.

LES DÉTAILS TECHNIQUES ET LES RÉSULTATS DES MESURES AUX TEMPÉRATURES ÉLEVÉES.

Dans ces expériences, comme dans les expériences précédentes, nous nous sommes servi de lames de différentes dimensions provenant de divers échantillons ayant toujours la forme parallélépipédique et taillées perpendiculairement à l'axe optique.

La difficulté essentielle est d'obtenir sur les deux faces en regard des couches métalliques qui ne s'oxydent pas à l'élévation de température et qui adhèrent parfaitement sur les deux faces. Les feuilles minces métalliques ne peuvent pas satisfaire à ces conditions.

Pour surmonter ces difficultés, nous avons eu recours à la méthode de pulvérisation cathodique qui nous permet d'avoir une couche régulière et adhérente.

A cet effet, nous avons profité d'un dispositif de pulvérisation cathodique réalisé il y a quelques années ⁽¹⁾ par M. Andant, au Laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne; nous profitons de cette occasion pour lui exprimer notre vive gratitude pour tous les dérangements que nous lui avons causé.

Les deux faces de la lame perpendiculaire à l'axe optique ont été ainsi rendues conductrices.

(1) *Doc. sc.*, n° 24, 1934.

Pendant la pulvérisation cathodique il arrive souvent que les quatre autres faces sont tachetées par de petites particules métalliques; on les enlève tout de suite, après avoir sorti la lame de l'appareil avant le vieillissement des couches conductrices, à l'aide de papier émeri et on nettoie ensuite la lame avec de l'alcool de manière que les deux faces rendues conductrices soient tout à fait isolées l'une de l'autre.

Ceci fait, à l'aide d'une épingle, on trace sur une des deux faces un rectangle, l'épingle enlève le contour de ce rectangle et on vérifie par examen à la loupe qu'il n'y a eu aucun point de liaison entre le rectangle central et l'anneau extérieur; on a ainsi réalisé un condensateur à anneau de garde à diélectrique de quartz.

L'anneau de garde est mis à la terre à l'aide d'une petite électrode; on obtient ainsi un champ uniforme à l'intérieur du cristal.

Montage des lames dans le four électrique. — La figure 12 représente la technique adoptée pour le montage des lames dans le four électrique.

Pour les contacts métalliques, nous nous sommes servi de très minces électrodes appuyées légèrement contre les armatures en leur centre; chaque électrode traverse une lamelle en silice fondue, à la sortie de laquelle elle entre dans un tube également en silice fondue (tout ceci pour protéger les parties métalliques contre les poussières et les contacts nuisibles). Le tube de silice qui contient la soudure thermoélectrique est placé contre la lamelle de silice supérieure, son extrémité aussi voisine du centre que possible. Tout l'ensemble est enveloppé par des fils d'amiant; on obtient ainsi un ensemble rigide et un contact parfait. Ceci fait, on place le tout au centre d'un tuyau métallique mis à la terre servant ainsi d'écran électro-

statique; ce dernier qui contient tout l'ensemble de notre dispositif est placé au milieu d'un four électrique suffi-

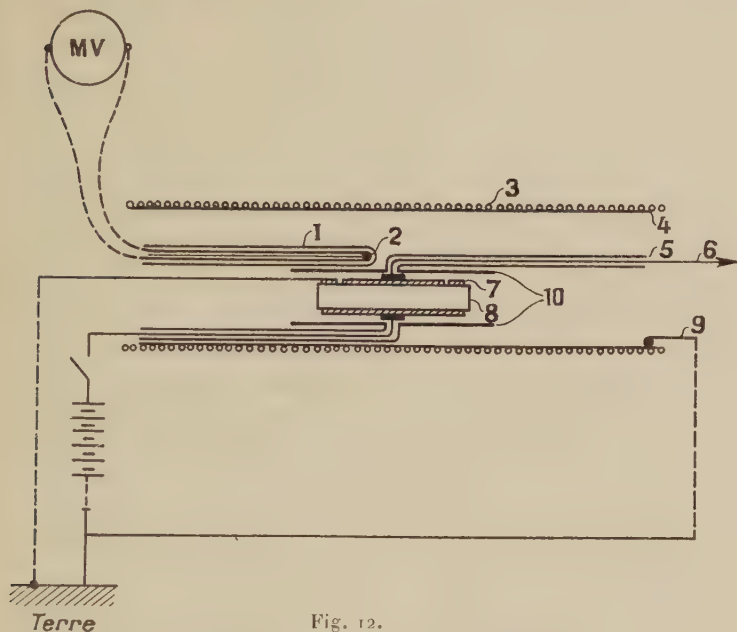


Fig. 12.

- 1, tube en silice fondue;
- 2, soudure thermoélectrique;
- 3, enroulement du four;
- 4, cylindre métallique;
- 5, tube en silice fondue;
- 6, fil allant à l'électromètre;
- 7, couche de palladium;
- 8, lame de quartz;
- 9, mise à la terre du cylindre métallique;
- 10, lamelles en silice fondue.

samment long de manière qu'au centre on ait une température assez uniforme.

Résultats des mesures.

Dans nos premières expériences nous nous sommes servi de lames de grandes dimensions. L'échauffement ainsi que le refroidissement s'effectuaient pendant des temps relativement courts. Par suite de la non uniformité de la température suivant toute la longueur de la lame et la rapidité de refroidissement, il se produisait, au retour à la température initiale, des fissures au bord de la lame et une augmentation de la conductibilité de l'ordre de quelques centaines de fois sa valeur primitive; ce gain de conductibilité diminuait de jour en jour en tendant vers sa valeur initiale. La figure 13 correspond à la lame $n(2)$ de $100 \times 20 \times 12^{\text{mm}}$ électrodes en argent et armature en palladium.

En abscisse nous avons porté le logarithme de la conductibilité, en ordonnée l'inverse de la température multiplié par 10^4 . Pour un intervalle de 600°C . la conductibilité a augmenté de 11 millions de fois; l'échauffement s'est effectué rapidement et n'a duré que 3 heures.

On constate que la courbe est formée de deux parties distinctes :

Dans cette première expérience, au lieu des lamelles de silice qui servent à couvrir les armatures, nous avons utilisé des lamelles en cristal : aux températures élevées ces lamelles étaient attaquées.

Dans les expériences ultérieures, nous avons introduit les perfectionnements suivants :

1° Nous avons remplacé les lamelles en cristal par des lamelles en silice fondue;

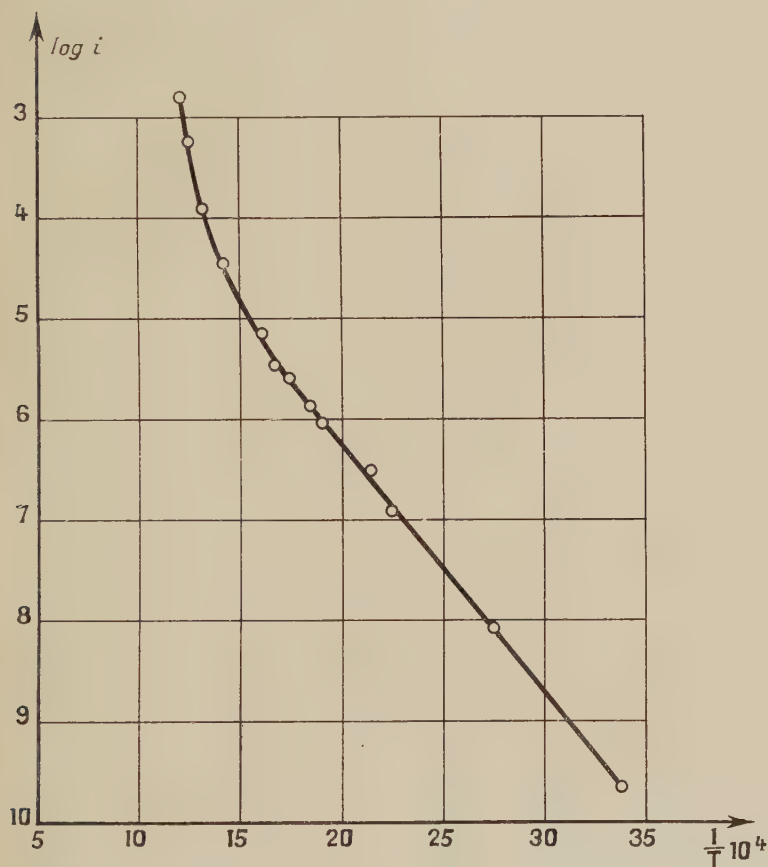


Fig. 13.

2° Pour éviter une différence de potentiel de contact possible (quoique négligeable comme nous l'avons constaté par la suite) entre armatures et électrodes, nous avons

pris, dans la suite, ces deux dernières toujours de même nature.

La figure 14 représente la courbe relative à la lame n° 3

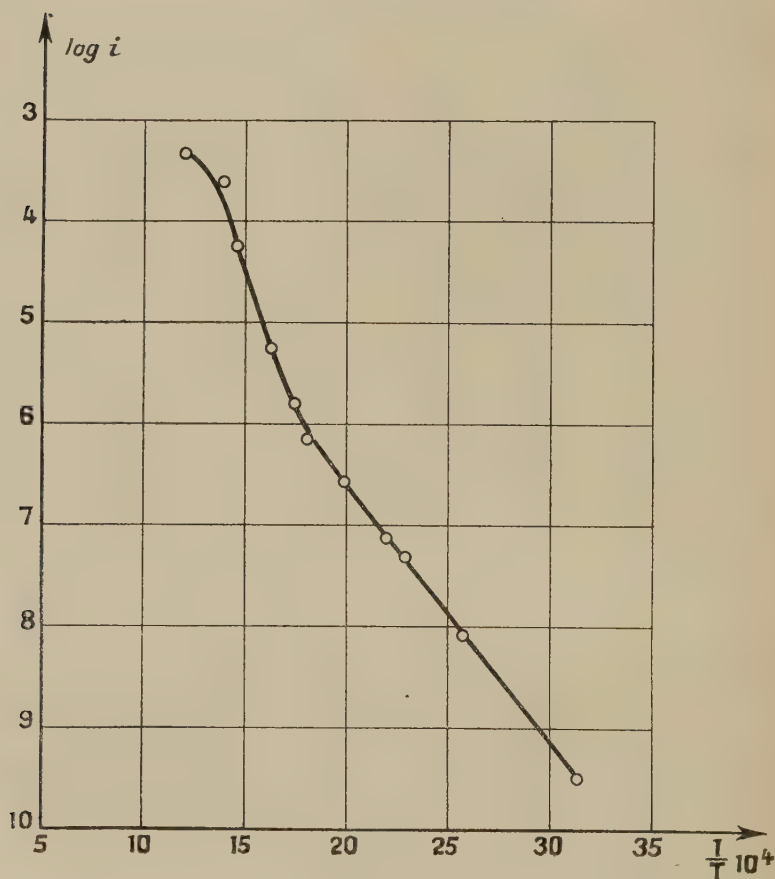


Fig. 14.

de mêmes dimensions que la lame n° 2, mais de conductibilité beaucoup plus grande. Une différence de potentiel

de 20 volts appliquée à la lame n° 3 donnait la même conductibilité qu'on ne pouvait avoir qu'avec 540 volts appliquée à la lame n° 2. Ceci montre clairement que deux

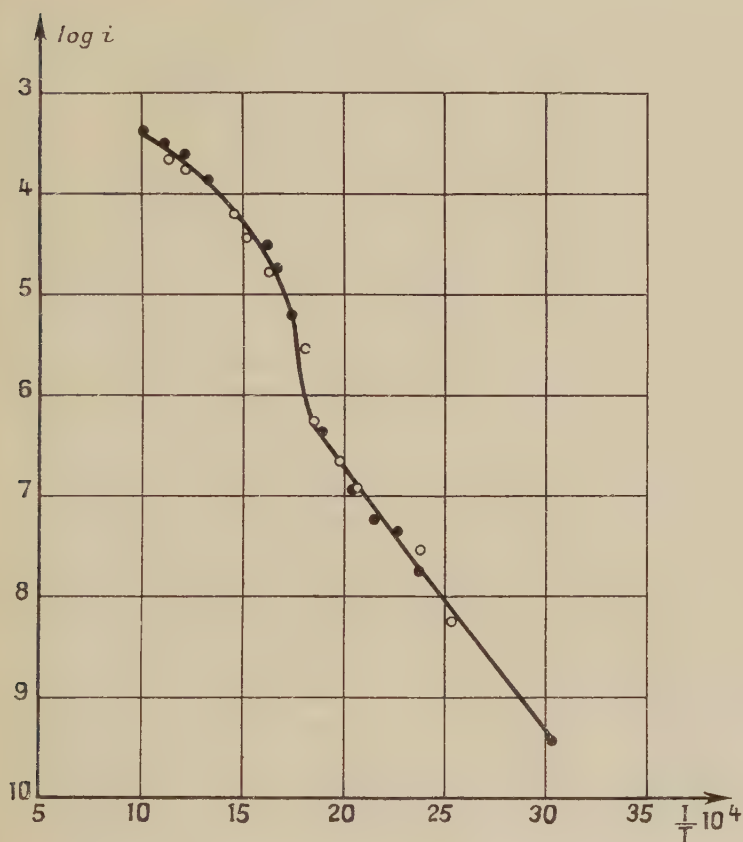


Fig. 15.

lames de mêmes dimensions provenant de deux échantillons différents n'ont pas la même conductibilité électrique.

La figure 15 représente les résultats des expériences

relatives aux lames n° 4 et n° 5, de mêmes dimensions ($50 \times 20 \times 8^{\text{mm}}$), provenant d'un même échantillon et sous la même différence de potentiel.

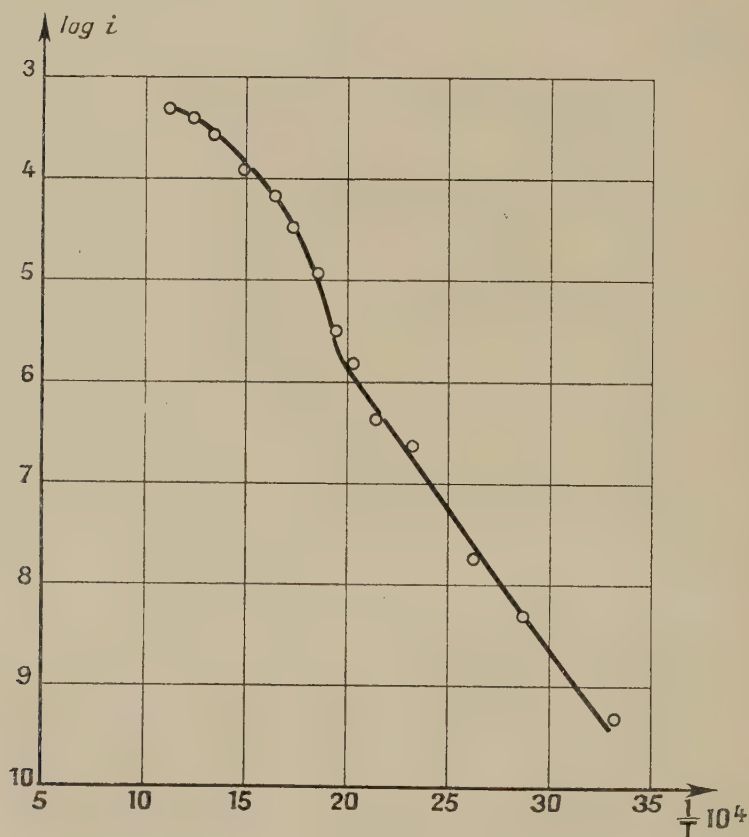


Fig. 16.

Les cercles noirs correspondent à la lame n° 4 et les cercles blancs à la lame n° 5; on constate que les courbes représentatives se confondent : nous en concluons que

deux lames provenant d'un même échantillon ont la même conductibilité électrique.

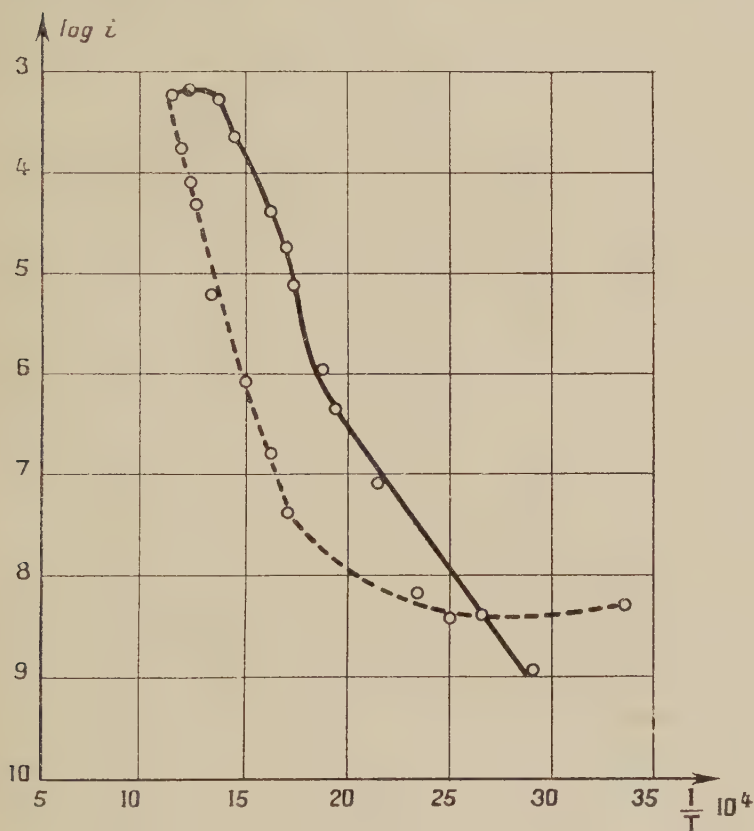


Fig. 17.

La figure 16 correspond à la lame n° 7 ($30 \times 20 \times 3\text{mm}$) sous 90 volts, armatures et électrodes en palladium.

L'échauffement a duré 9 heures 45 minutes et le refroidissement s'est effectué très lentement. Revenue à la

température initiale la lame est restée tout à fait intacte, mais la conductibilité avait diminué environ cinq fois. La figure 17 représente la variation de la conductibilité

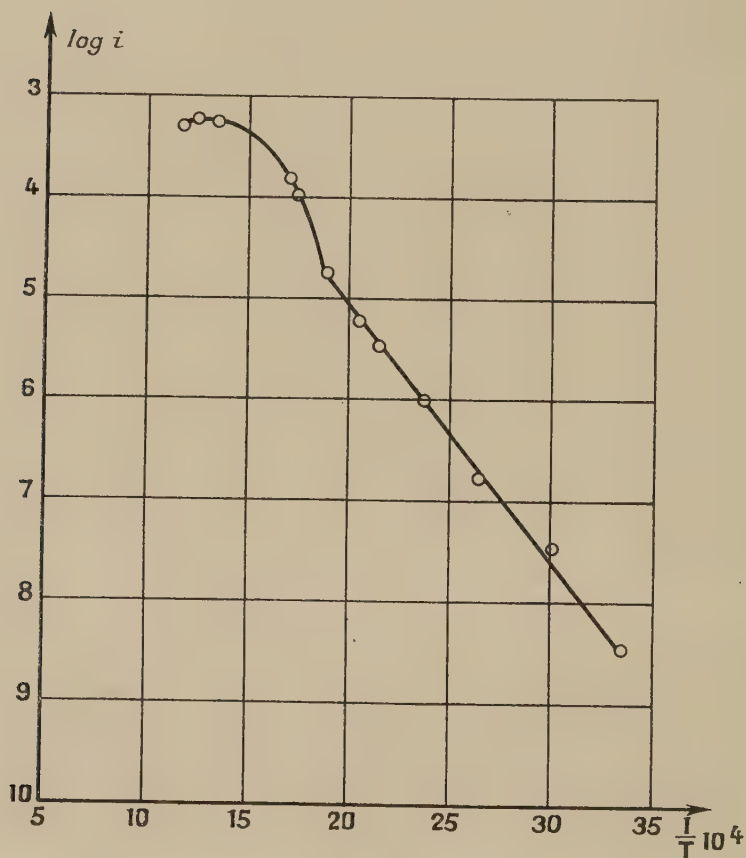


Fig. 18.

de la même lame n° 7, dans une deuxième expérience, pour un cycle fermé de température; on constate que la courbe de refroidissement ne coïncide pas avec la courbe de

l'échauffement (il existe un effet de fatigue), mais l'allure de la variation de la conductibilité en fonction de l'inverse de la température est identique à celle observée lors de

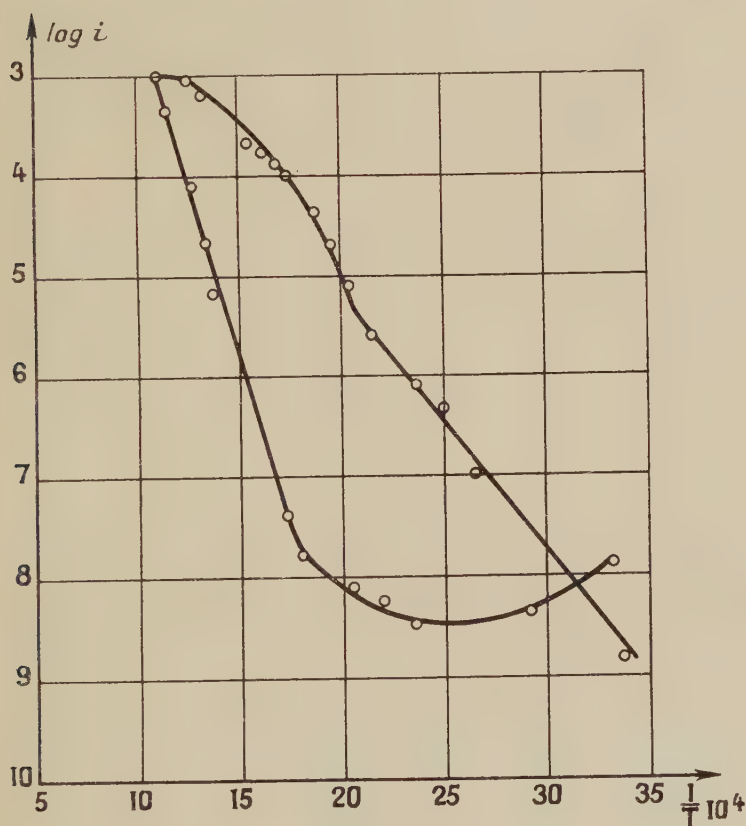


Fig. 19.

la première expérience. L'échauffement et le refroidissement ont cette fois-ci duré 27 heures et demie. La lame après la dernière expérience est encore restée tout à fait intacte.

La figure 18 correspond à la lame n° 8 ($20 \times 20 \times 3\text{mm}$), armatures et électrodes en palladium sous 360 volts : la durée de l'échauffement est d'environ 7 heures; le refroidissement s'effectue très lentement, la lame reste intacte.

La figure 19 correspond à la lame n° 9 ($50 \times 20 \times 1\text{mm}$), sous différence de potentiel de 90 volts, avec armatures et électrodes en palladium pour un cycle fermé de température : l'expérience a duré 32 heures; au retour la lame est restée intacte.

Armatures en argent. — Jusqu'ici nous nous sommes servi d'armatures en palladium obtenues par la méthode de pulvérisation cathodique.

En vue de vérifier que ni la nature des armatures, ni le mode de réalisation de celle-ci n'influent pas sur l'allure du phénomène, nous avons repris les mêmes expériences avec des armatures en argent obtenues par des procédés chimiques.

La figure 20 correspond à la lame n° 11 ($30 \times 20 \times 10\text{mm}$), armatures et électrodes en argent sous 90 volts : l'échauffement a duré 7 heures 25 minutes; de même la figure 21 correspond à la lame n° 12 ($30 \times 20 \times 3\text{mm}$), armatures et électrodes également en argent sous 10 volts : l'échauffement a duré 8 heures 30 minutes.

On constate qu'au point de vue de l'allure de la variation du courant ces courbes sont identiques à celles observées avec des lames à armatures et électrodes en palladium.

Les électrodes d'argent se distinguent de celles en palladium par les particularités suivantes :

On voyait toujours une tache jaune brunâtre à l'électrode positive et l'électrode négative était attaquée et restait tout à fait collée sur la lame; ceci n'avait pas été observé dans le cas des armatures et électrodes en palladium, ces dernières restaient semblables avant et après chaque expérience.

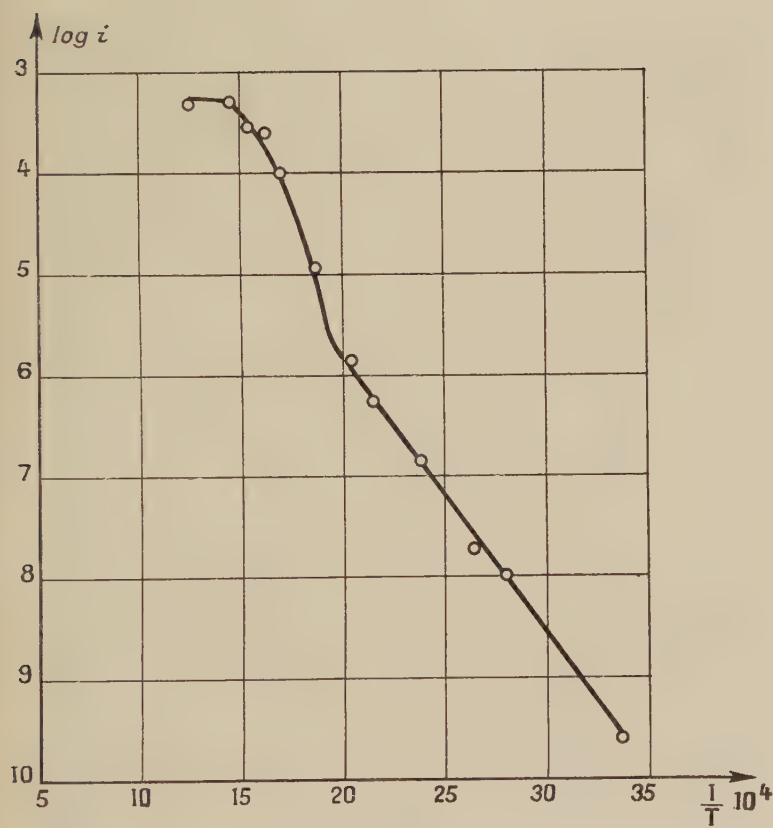


Fig. 20.

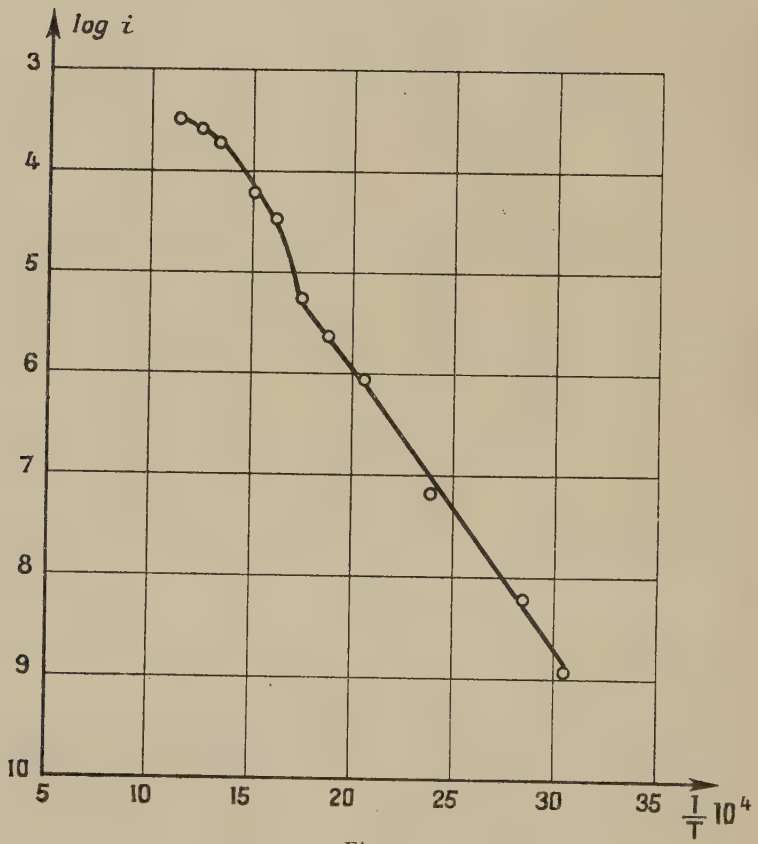


Fig. 21.

TABLEAU V. — *Lame n° 2* ($100 \times 20 \times 12^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
20.....	293	34,24	$2,20 \cdot 10^{-10}$	10,353
90.....	363	27,54	$7,90 \cdot 10^{-9}$	9,902
170.....	443	22,57	$1,20 \cdot 10^{-7}$	7,072
191.....	464	21,57	$3,00 \cdot 10^{-7}$	7,477
251.....	524	19,08	$9,00 \cdot 10^{-7}$	7,954
270.....	543	18,41	$1,36 \cdot 10^{-6}$	6,133
300.....	573	17,43	$2,50 \cdot 10^{-6}$	6,397
325.....	598	16,72	$3,40 \cdot 10^{-6}$	6,531
345.....	618	16,18	$7,25 \cdot 10^{-6}$	6,860
430.....	703	14,22	$3,50 \cdot 10^{-5}$	5,544
480.....	753	13,28	$1,20 \cdot 10^{-4}$	4,079
515.....	788	12,69	$5,50 \cdot 10^{-4}$	4,740
550.....	823	12,15	$1,65 \cdot 10^{-3}$	3,212

d.d.p. = 540 volts. Durée de l'expérience : 3 heures. Électrode en argent, armature en palladium.

TABLEAU VI. — *Lame n° 3* ($100 \times 20 \times 12^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
44.....	317	31,54	$3,19 \cdot 10^{-10}$	10,508
114.....	387	25,83	$7,95 \cdot 10^{-9}$	9,900
160.....	433	23,19	$5,00 \cdot 10^{-8}$	8,698
180.....	453	22,07	$7,20 \cdot 10^{-8}$	8,857
230.....	503	19,88	$2,70 \cdot 10^{-7}$	7,431
280.....	553	18,08	$7,20 \cdot 10^{-7}$	7,857
300.....	573	17,45	$1,67 \cdot 10^{-6}$	6,222
330.....	603	16,58	$5,70 \cdot 10^{-6}$	6,758
400.....	673	14,82	$5,50 \cdot 10^{-5}$	5,740
490.....	763	13,10	$2,40 \cdot 10^{-4}$	4,380
560.....	833	12,00	$4,50 \cdot 10^{-4}$	4,653

d.d.p. = 20 volts. Durée de l'expérience : 3 heures. Électrode et armature en palladium.

TABLEAU VII. — *Lame n° 4.*

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
56.....	329	30,39	$3,50.10^{-10}$	10,545
147.....	420	23,80	$1,70.10^{-8}$	8,254
167.....	440	22,72	$4,50.10^{-8}$	8,653
189.....	462	21,64	$5,80.10^{-8}$	8,763
211.....	484	20,65	$1,20.10^{-7}$	7,079
256.....	529	18,90	$4,00.10^{-7}$	7,662
300.....	573	17,45	$6,00.10^{-6}$	6,778
322.....	595	16,80	$1,70.10^{-5}$	5,250
342.....	615	16,26	$3,10.10^{-5}$	5,503
475.....	748	13,36	$4,45.10^{-4}$	4,161
541.....	814	12,28	$2,50.10^{-4}$	4,405
627.....	900	11,11	$3,10.10^{-4}$	4,502
701.....	974	10,22	$4,40.10^{-4}$	4,652

d. d. p. = 20 volts. Durée de l'expérience : 2 heures 45 minutes.
Armature et électrode en palladium.

TABLEAU VIII. — *Lame n° 5.*

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
122.....	395	25,33	$5,10.10^{-9}$	9,709
144.....	417	23,98	$3,10.10^{-8}$	8,504
210.....	483	20,70	$1,20.10^{-7}$	7,079
233.....	506	19,76	$2,30.10^{-7}$	7,369
255.....	528	18,56	$6,00.10^{-7}$	7,778
275.....	548	18,24	$2,90.10^{-6}$	6,462
299.....	572	17,48	$5,50.10^{-6}$	6,740
342.....	615	16,26	$1,60.10^{-5}$	5,193
386.....	659	15,17	$3,60.10^{-5}$	5,556
401.....	682	14,66	$6,60.10^{-5}$	5,819
542.....	815	12,27	$1,50.10^{-4}$	4,203
606.....	879	11,37	$2,00.10^{-4}$	4,301

d. d. p. = 20 volts. Durée de l'expérience : 5 heures. Armature
et électrode en palladium.

TABLEAU IX. — *Lame n° 7* (30 × 20 × 3 mm).
Échauffement.

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
73.....	343	29,15	$1,20.10^{-9}$	9,079
105.....	378	26,66	$3,90.10^{-9}$	9,591
194.....	467	21,41	$8,70.10^{-8}$	8,979
236.....	509	19,64	$4,60.10^{-7}$	7,662
261.....	534	18,12	$4,50.10^{-6}$	6,060
303.....	576	17,36	$8,30.10^{-6}$	6,919
315.....	588	17,00	$1,90.10^{-5}$	5,278
347.....	620	16,12	$4,90.10^{-5}$	5,633
413.....	686	14,57	$2,40.10^{-4}$	4,380
458.....	731	13,67	$5,90.10^{-4}$	4,770
545.....	818	12,22	$6,80.10^{-4}$	4,832
610.....	883	11,32	$6,00.10^{-4}$	4,778

d. d. p. = 90 volts. Durée de l'expérience : 27 heures 30 minutes.
Armature et électrode en palladium.

TABLEAU X. — *Lame n° 7* (30 × 20 × 3 mm).
Refroidissement.

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
566.....	839	11,91	$1,70.10^{-4}$	4,243
544.....	817	12,23	$8,00.10^{-5}$	5,903
524.....	797	12,54	$5,00.10^{-5}$	5,698
480.....	753	13,28	$6,20.10^{-6}$	6,792
392.....	665	15,03	$9,00.10^{-7}$	7,954
348.....	621	16,10	$1,50.10^{-7}$	7,176
315.....	588	17,00	$4,00.10^{-8}$	8,602
151.....	424	23,58	$6,90.10^{-9}$	9,838
127.....	400	25,00	$3,80.10^{-9}$	9,579
24.....	297	33,67	$5,60.10^{-9}$	9,748

d. d. p. = 90 volts. Durée de l'expérience : 27 heures 30 minutes.
Armature et électrode en palladium.

TABLEAU XI. — *Lame n° 7* ($30 \times 20 \times 3^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
26.....	299	33,44	$5,00.10^{-10}$	10,698
75.....	348	28,73	$5,00.10^{-9}$	9,698
107.....	380	26,33	$1,77.10^{-8}$	8,247
154.....	427	23,41	$2,48.10^{-7}$	7,394
196.....	469	21,32	$4,60.10^{-7}$	7,662
218.....	491	20,36	$1,60.10^{-6}$	6,204
238.....	511	19,56	$3,22.10^{-6}$	6,509
262.....	535	18,69	$1,30.10^{-5}$	5,113
304.....	577	17,33	$3,60.10^{-5}$	5,556
327.....	600	16,66	$7,40.10^{-5}$	5,869
393.....	666	15,01	$1,30.10^{-4}$	4,113
460.....	733	13,64	$2,90.10^{-4}$	4,462
527.....	800	12,50	$4,10.10^{-4}$	4,612
614.....	887	11,27	$5,00.10^{-4}$	4,698

d. d. p. = 90 volts. Durée de l'expérience : 9 heures 45 minutes.
Armature et électrode en palladium (2^e expérience).

TABLEAU XII. — *Lame n° 8* ($20 \times 20 \times 3^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
25.....	295	33,55	$3,52.10^{-9}$	9,546
59.....	332	30,12	$3,40.10^{-8}$	8,531
103.....	376	26,59	$1,60.10^{-7}$	7,204
148.....	421	23,75	$1,00.10^{-6}$	6,000
192.....	465	21,50	$4,50.10^{-6}$	6,653
212.....	485	20,61	$5,90.10^{-6}$	6,770
259.....	532	18,79	$2,20.10^{-5}$	5,342
301.....	574	17,42	$1,10.10^{-4}$	4,041
313.....	586	17,06	$1,51.10^{-4}$	4,184
478.....	751	13,31	$5,50.10^{-4}$	4,740
523.....	796	12,56	$6,00.10^{-4}$	4,778
565.....	838	11,93	$5,00.10^{-4}$	4,698

d. d. p. = 360 volts. Durée de l'expérience : 7 heures 30 minutes.
Armature et électrode en palladium.

TABLEAU XIII. — *Lame n° 9* ($50 \times 20 \times 1 \text{ mm}$). — *Échauffement.*

t .	T.	$\frac{1}{T} 10^4$.	i (ampère).	Log i .
23.....	296	33,78	$1,30 \cdot 10^{-9}$	9,141
105.....	378	26,45	$1,30 \cdot 10^{-7}$	7,012
127.....	400	25,00	$4,50 \cdot 10^{-7}$	7,653
149.....	422	23,69	$8,20 \cdot 10^{-7}$	7,913
194.....	467	21,41	$2,60 \cdot 10^{-6}$	6,418
214.....	487	20,53	$8,50 \cdot 10^{-6}$	6,905
237.....	510	19,60	$2,00 \cdot 10^{-5}$	5,301
261.....	534	18,72	$4,40 \cdot 10^{-5}$	5,643
303.....	576	17,36	$1,00 \cdot 10^{-4}$	4,000
316.....	589	16,97	$1,34 \cdot 10^{-4}$	4,127
348.....	621	16,10	$1,68 \cdot 10^{-4}$	4,225
371.....	644	15,52	$2,00 \cdot 10^{-4}$	4,301
481.....	755	13,24	$6,30 \cdot 10^{-4}$	4,799
526.....	799	12,51	$9,00 \cdot 10^{-4}$	4,954
569.....	842	11,87	$9,50 \cdot 10^{-4}$	4,977

d. d. p. = 90 volts. Durée de l'expérience : 32 heures. Armature et électrode en palladium.

TABLEAU XIV. — *Lame n° 9* ($50 \times 20 \times 1 \text{ mm}$). — *Refroidissement.*

t .	T.	$\frac{1}{T} 10^4$.	i (ampère).	Log i .
595.....	868	11,52	$4,70 \cdot 10^{-4}$	4,672
503.....	776	12,88	$8,30 \cdot 10^{-5}$	5,919
483.....	756	13,22	$2,00 \cdot 10^{-5}$	5,301
461.....	734	13,62	$6,60 \cdot 10^{-6}$	6,819
306.....	579	17,27	$4,00 \cdot 10^{-8}$	8,602
283.....	556	17,98	$1,50 \cdot 10^{-8}$	8,176
217.....	490	20,40	$7,70 \cdot 10^{-9}$	9,886
175.....	448	22,32	$5,50 \cdot 10^{-9}$	9,740
153.....	426	23,47	$3,30 \cdot 10^{-9}$	9,518
69.....	342	29,23	$4,40 \cdot 10^{-9}$	9,143
29.....	302	33,11	$1,32 \cdot 10^{-8}$	8,120

d. d. p. = 90 volts. Durée de l'expérience : 32 heures. Armature et électrode en palladium.

TABLEAU XV. - *Lame n° 11* ($30 \times 20 \times 10^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
23.....	296	33,78	$2,50.10^{-10}$	10,397
84.....	357	28,01	$1,00.10^{-8}$	8,000
104.....	377	26,52	$1,80.10^{-8}$	8,255
149.....	422	23,69	$1,40.10^{-7}$	7,152
194.....	467	21,41	$5,70.10^{-7}$	7,755
214.....	487	20,53	$1,44.10^{-6}$	6,158
260.....	533	18,76	$1,20.10^{-5}$	5,079
315.....	588	17,00	$1,05.10^{-4}$	4,021
347.....	620	16,12	$2,40.10^{-4}$	4,380
369.....	642	15,57	$3,00.10^{-4}$	4,477
414.....	687	14,53	$6,00.10^{-4}$	4,778
525.....	798	12,53	$4,50.10^{-4}$	4,653

d. d. p. = 90 volts. Durée de l'expérience : 7 heures 25 minutes.
Armature et électrode en argent.

TABLEAU XVI. — *Lame n° 12* ($30 \times 20 \times 3^{\text{mm}}$).

$t.$	T.	$\frac{1}{T} 10^4.$	i (ampère).	Log $i.$
54.....	327	30,58	$1,20.10^{-9}$	9,099
77.....	350	28,57	$6,30.10^{-9}$	9,800
145.....	418	23,92	$6,30.10^{-8}$	8,799
209.....	482	20,74	$8,70.10^{-7}$	7,939
256.....	529	18,90	$2,20.10^{-6}$	6,342
298.....	571	17,51	$5,73.10^{-6}$	6,758
343.....	616	16,23	$3,28.10^{-5}$	5,515
387.....	660	15,15	$5,90.10^{-5}$	5,770
476.....	749	13,35	$2,10.10^{-4}$	4,322
520.....	793	12,61	$2,60.10^{-4}$	4,414
607.....	880	11,36	$3,40.10^{-4}$	4,531

d. d. p. = 10 volts. Durée de l'expérience : 8 heures 30 minutes.
Armature et électrode en argent.

TABLEAU XVII. — *Résumé de nos expériences.*

Numéro de la lame.	Dimensions (en millimètres).	Intervalle de tempé- rature.	Durée de l'expé- rience (heures).	Augmentation de la conductibilité.	Potentiel appliqué (en volts).
1....	100 × 20 × 12	74	2 »	5,5.10 ²	270
2....	100 × 20 × 12	530	3	7,5.10 ⁶	540
3....	100 × 20 × 12	516	3	1,4.10 ⁶	20
4....	50 × 20 × 8	645	2.45	1,2.10 ⁶	20
5....	50 × 20 × 8	484	5	4,0.10 ⁴	20
6....	20 × 20 × 1	—	—	—	—
7....	30 × 20 × 3	588	9.45	1,0.10 ⁵	90
8....	20 × 20 × 3	540	7.30	1,4.10 ⁵	360
9....	50 × 20 × 1	546	8	7,3.10 ⁶	90
10....	20 × 20 × 2	—	—	—	—
11....	30 × 20 × 10	502	7.25	1,8.10 ⁶	90
12....	30 × 20 × 3	553	8.30	2,8.10 ⁵	10
13....	20 × 20 × 2	—	—	—	—
14....	20 × 20 × 1	—	—	—	—

CHAPITRE V.

ACTION DES RAYONS ULTRAVIOLETS SUR LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DU QUARTZ.

Montage et procédé de mesure. — La lame à étudier est montée entre deux plaques de fibre isolante. Ces dernières sont posées verticalement sur une troisième plaque horizontale de même nature; une des deux plaques verticales est fixe et l'autre mobile, pouvant ainsi glisser sur la plaque horizontale à l'aide de deux vis; ce dispositif permet de changer la distance entre les deux plaques verticales, permettant ainsi de maintenir des lames de quartz d'épaisseur différente. Entre la lame en quartz et chacune des plaques verticales en fibre isolante se trouve une lamelle polie en silice fondue au travers de laquelle passe l'électrode.

Cet ensemble est placé à l'intérieur d'une boîte métallique mise à la terre.

Pour empêcher l'influence non négligeable de l'humidité, on dessèche l'air intérieur de la boîte métallique; à cet effet, il a été aménagé dans cette dernière deux petites cases contenant du sodium.

Les connexions se font à l'aide des électrodes qui, après avoir traversé les lamelles de silice fondue, traversent la plaque en fibre isolante et sortent de la boîte métallique par des bornes isolantes en ébonite.

La méthode de mesure est la même que celle dont nous

nous sommes servi précédemment. A cet effet, on porte une des faces de la lame au potentiel voulu et l'autre face est reliée au quadrant isolé de l'électromètre.

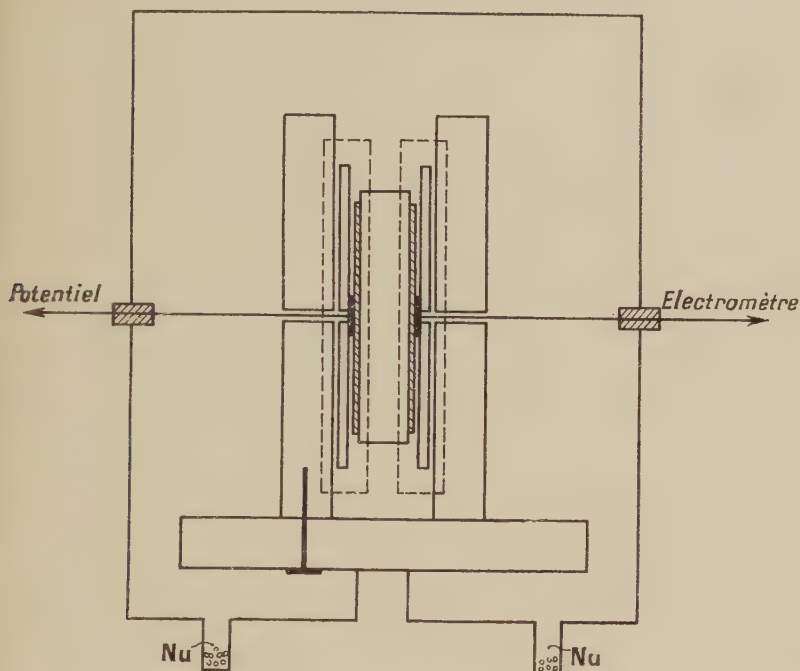


Fig. 22.

La figure 22 présente schématiquement le montage utilisé.

Les rayons utilisés sont produits par une lampe à mercure d'Hewittic dont le régime normal est 3,5 ampères sous 75 volts. La distance entre la boîte métallique et la source était environ de 30^{cm}.

Un faisceau de rayons pénètre dans la boîte métallique par une fenêtre en quartz découpée dans une des parois.

On allume la lampe et on attend à peu près 15 minutes jusqu'à ce que le régime stable soit atteint. Pendant ce temps la lame de quartz est protégée contre l'action des rayons par un écran de carton noir; la conductibilité du système reste tout à fait constante. Au bout de 15 minutes, on expose la lame à la lumière et, à ce moment, on déclanche un compte-seconde; on mesure la conductibilité au bout d'intervalles allant de 3 à 9 minutes suivant que la variation de l'intensité du courant est rapide ou lente. Chaque mesure ne durait que 15 à 25 secondes.

Résultats des mesures.

Les courbes en trait plein de la figure 23 correspondent à la lame n° 14 ($20 \times 20 \times 1^{\text{mm}}$) avec armatures en feuilles minces d'étain et électrodes en argent, sous des potentiels de 10, 20 et 30 volts à 18° de température : à chacune d'elle correspond une courbe en pointillé qui traduit la loi de la décroissance de la conductibilité à partir de l'instant où on cesse d'irradier. Nous avons porté en ordonnées les nombres proportionnels à l'intensité du courant et en abscisses le temps en minutes.

La figure 24 représente les courbes correspondantes à la lame n° 6, de mêmes dimensions que la précédente, mais provenant d'un autre échantillon avec armature et électrode en palladium à une température constante de 20° , sous 90 et 180 volts.

Les figures 25 et 26 correspondent aux lames n° 10 et n° 13 de mêmes dimensions ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$) provenant d'échantillons différents (1) avec des armatures et des électrodes en argent, sous 20, 30, 40, 50, 60, 90 et 180 volts.

Dans ces deux dernières expériences les électrodes sont entièrement protégées par des caches en papier noir; on évitait ainsi tout effet photoélectrique sur les électrodes; les radiations ne tombent que sur la partie médiane de la lame.

Ces courbes diffèrent des courbes précédentes par la présence d'un petit point d'inflexion au début : à part cela, l'allure de la variation de la conductibilité est la même et les courbes de retour en pointillé sont tout à fait identiques à celles obtenues sans cacher les électrodes.

Les Tableaux XVIII à XXIX donnent numériquement les valeurs correspondantes aux courbes tracées ci-après.

(1) *Comptes rendus*, t. 201, 1935, p. 1021.

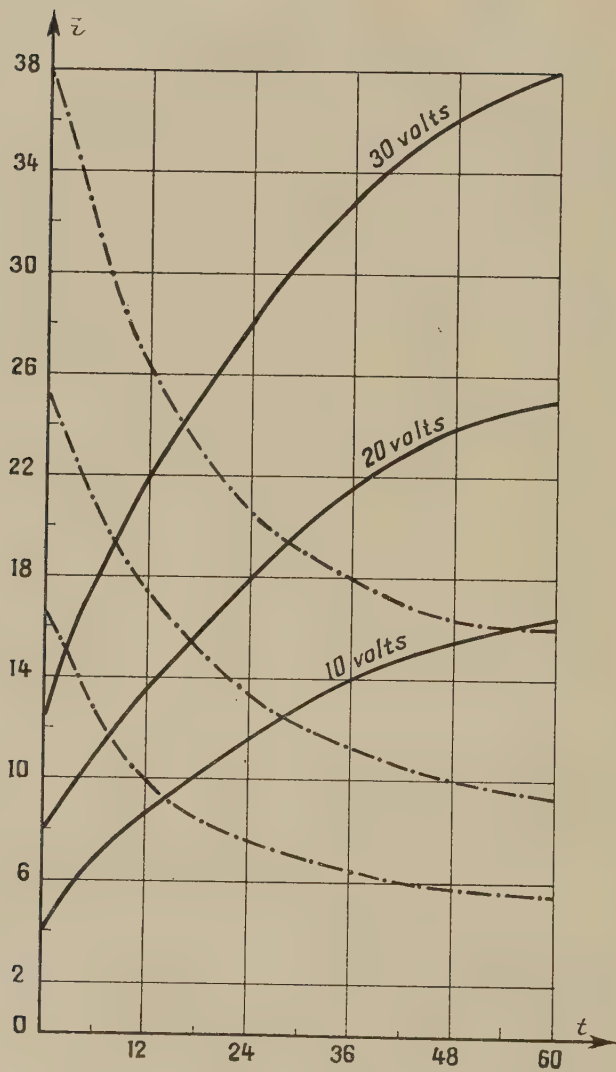


Fig. 23.

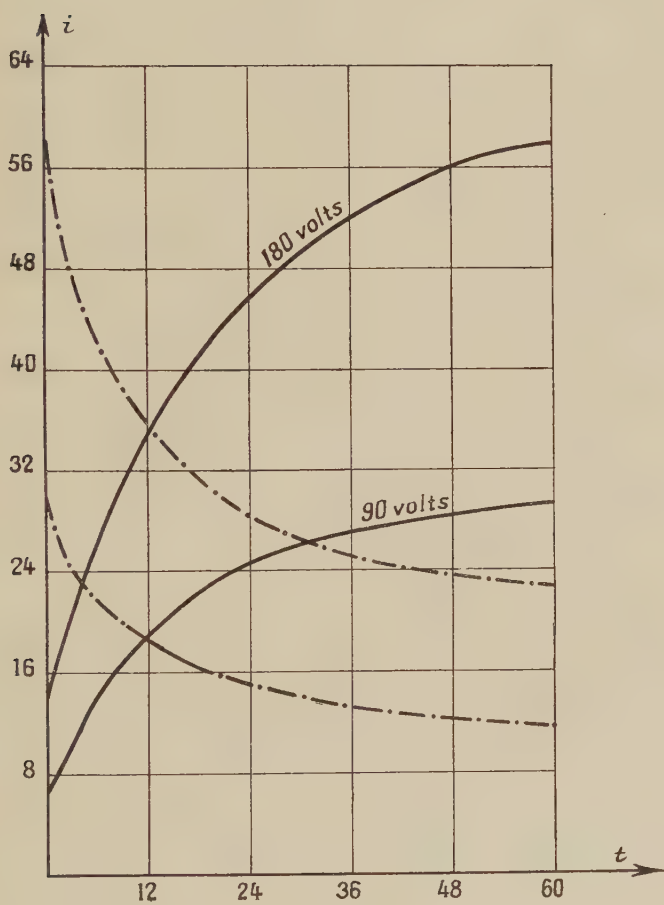


Fig. 24.

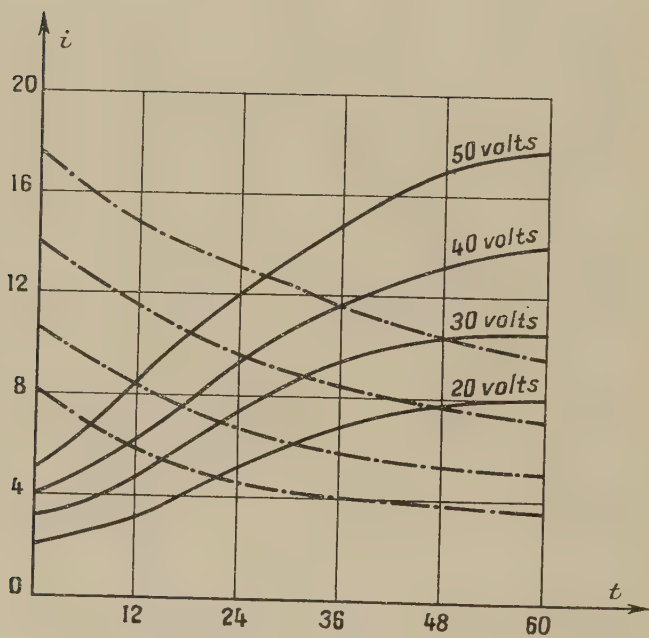


Fig. 25.

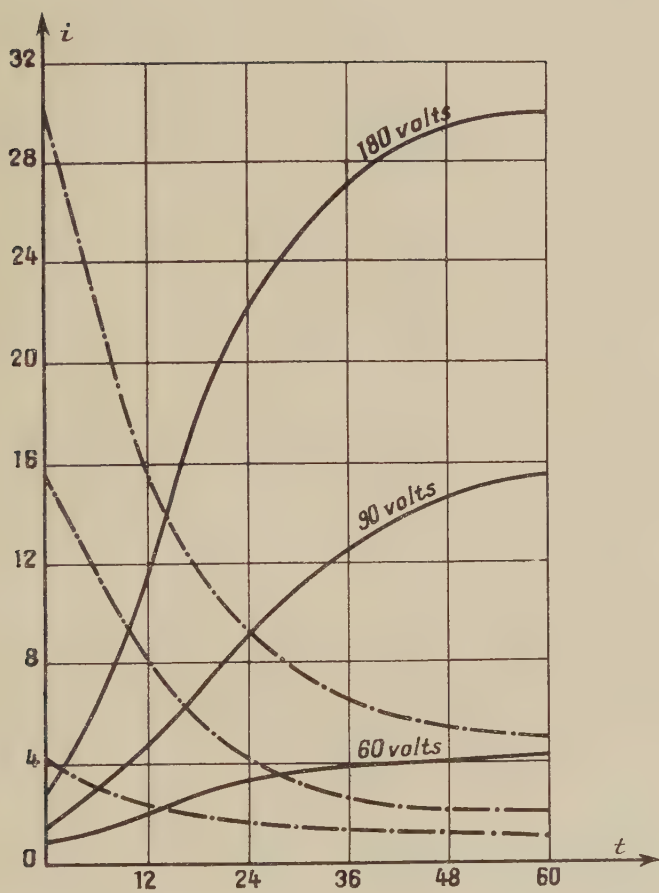


Fig. 26.

TABLEAU XVIII. — *Lame n° 14* ($20 \times 20 \times 1^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
4	0	16,5	0
7	6	14	4
8,5	12	11	9
10	18	9	15
11,5	24	7,5	24
13	30	7	30
15	42	6	42
16	54	5,5	60
16,5	60	—	—

d. d. p. = 10 volts. Armature en étain, électrode en argent.

TABLEAU XIX. — *Lame n° 14* ($20 \times 20 \times 1^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
8	0	25	0
9,5	3	23	3
11	6	20,5	6
13,5	12	18,5	9
15,5	18	16	15
18	24	14	21
20	30	12	30
23	48	10,5	42
25,1	60	9,2	60

d. d. p. = 20 volts. Armature en étain, électrode en argent.

TABLEAU XX. — *Lame n° 14* ($20 \times 20 \times 1^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
12	0	38	0
16	3	35	3
18	6	31	6
22	12	28	9
25	18	26	12
28	24	23	18
31	30	20,5	24
33	36	19	30
35,5	45	18	36
37,5	54	16,5	45
38	60	16	60

d. d. p. = 30 volts. Armature en étain, électrode en argent.

TABLEAU XXI. — *Lame n° 6* ($20 \times 20 \times 1^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
7	0	29,5	0
10	3	24	3
14,5	6	20	9
17	9	18	12
20,5	15	16	18
24	21	15	24
26,5	30	14	30
27,5	45	13	36
28,5	51	12	48
29,5	60	11,5	60

d. d. p. = 90 volts. Armature en palladium, électrode en argent.

TABLEAU XXII. — *Lame n° 6* ($20 \times 20 \times 1^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
14	0	58	0
22,5	3	47,5	3
27	6	42	6
31,5	9	35,5	12
35	12	31	18
38,5	15	28,5	24
41	18	26	30
46	24	25	36
48,5	30	24	42
50	33	23	54
55,5	45	22,5	60
58	60		

d.d.p. = 180 volts. Armature en palladium, électrode en argent.

TABLEAU XXIII. — *Lame n° 10* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
2	0	—8	0
2,4	3	7,5	3
2,8	9	6,2	9
3,6	15	5,4	15
4,7	21	4,5	24
5,5	27	4,2	30
6,5	33	4	39
7,2	42	3,8	48
7,7	48	3,4	60
8	60		

d.d.p. = 20 volts. Armature et électrode en argent.

TABLEAU XXIV. — *Lame n° 10* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
3	0	10,6	0
3,5	3	10	3
4	9	9	9
5,5	15	7,8	15
5,8	21	7	21
8	27	6,4	30
9	33	5,6	39
10,2	45	5,3	48
10,6	60	5	60

d. d. p. = 30 volts. Armature et électrode en argent.

TABLEAU XXV. — *Lame n° 10* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
4	0	14	0
4,5	3	13	6
5,5	9	12	9
7	15	11	15
9,5	24	9	30
10,5	30	7,8	45
11,5	39	7	60
12,5	45		
14	60		

d. d. p. = 40 volts. Armature et électrode en argent.

TABLEAU XXVI. — *Lame n° 10* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
5	0	17,7	0
6	3	16	6
6,5	6	14,7	12
8,5	12	14	18
10,5	18	12,5	30
12	24	10,5	45
13,5	30	9,5	60
15,5	39		
17	48		
17,7	60		

d. d. p. = 50 volts. Armature et électrode en argent.

TABLEAU XXVII. — *Lame n° 13* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
1	0	4,2	0
1,4	6	3,1	6
2	12	2,4	12
2,7	18	1,8	24
3,4	24	1,3	42
3,6	30	1,2	60
3,8	36		
4	48		
4,2	60		

d. d. p. = 60 volts. Armature et électrode en argent.

TABLEAU XXVIII. — *Lame n° 13* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
1,5	0	15,5	0
3	6	11,8	6
4,5	12	7	12
6,8	18	6	18
9	24	4	24
11	30	3,5	30
12,5	36	2,5	36
13,5	42	2,2	48
14,5	48	2	60
15,5	60		

d. d. p. = 90 volts. Armature et électrode en argent.

TABLEAU XXIX. — *Lame n° 13* ($20 \times 20 \times 2^{\text{mm}}$).

Irradiation.		Après avoir supprimé la lumière.	
Courant.	Temps (en minutes).	Courant.	Temps (en minutes).
3	0	30	0
6,5	6	22	6
11,6	12	15,5	12
22	24	11,5	18
25	30	9,2	24
27	36	7,5	30
28,8	42	6,5	36
29,6	48	5,4	48
30	60	5	60

d. d. p. = 180 volts. Armature et électrode en argent.

CHAPITRE VI.

INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DE NOS RÉSULTATS DES MESURES.

I. — Température.

L'influence de la température sur la conductibilité des cristaux diélectriques est très caractéristique. Nous avons vu en effet pour le quartz une variation de l'ordre de millions de fois pour un intervalle de 600°.

La variation de la conductibilité i , pour un intervalle assez grand de température, peut être exprimée par la relation exponentielle

$$i = ac^{\frac{b}{T}}$$

ou sa forme logarithmique suivante

$$\log i = A + \frac{B}{T},$$

où A et B sont des constantes et T la température absolue.

Cette loi tombe en défaut pour plusieurs substances, quand on arrive aux températures relativement élevées; on a été conduit dans ces derniers cas à interpréter les résultats en admettant qu'aux températures élevées une deuxième sorte d'ion participe au mouvement de transport de charge; il semble que cette hypothèse a été vérifiée pour quelques-unes de ces substances.

Pour le corps qui est l'objet de notre travail on a admis, en général, que les deux sortes d'ions participent au mouvement de transport de charge pour n'importe quel degré

de température ⁽¹⁾. Avec cette dernière hypothèse on ne peut pas interpréter les phénomènes observés par nous. Nous avons vu, en effet, qu'à partir de 300° C. la loi logarithmique ne convient plus et les points représentatifs s'éloignent franchement de la droite.

Les droites obtenues par nous pour tous les échantillons utilisés ont toutes la même pente; cette dernière est presque la même (à 3 ou 4° près) que celle obtenue par A.-F. Joffé. Ainsi nos résultats concordent à peu près avec ceux de Joffé, seulement les expériences de cet auteur n'ont pas été poussées pour des températures plus élevées. On peut penser qu'aux températures élevées, il peut se produire des déformations dans la structure cristalline; à cet effet, nous avons répété l'expérience deux et même trois fois avec la même lame, l'allure de la variation était la même (*voir* les expériences relatives à la lame n° 7). Donc, s'il se produit une certaine déformation mécanique interne quelconque, elle n'a aucune influence sur la conductibilité électrique.

D'autre part, nous avons vu que, vers cette même température (300° C.), le courant de sens inverse n'existe plus, c'est-à-dire que vers cette température il n'y a plus l'accumulation des charges spatiales au voisinage des électrodes qui expliquent l'existence de ce courant.

Il y a là certainement un parallélisme entre ces deux phénomènes observés. Pour lier ces deux phénomènes, il faudrait savoir si d'autres propriétés électriques ou magnétiques du quartz changent ou non quand on dépasse cette même température.

⁽¹⁾ Remarquons que, jusqu'à présent, à part la différence de traitement électrique observée sur les deux électrodes quand elles étaient en argent, il n'a pas été mis en évidence le caractère ionique de la conductibilité électrique du quartz.

II. — Actions des rayons ultraviolets.

L'allure de la variation de la conductibilité électrique du quartz sous l'action des rayons ultraviolets ressemble beaucoup à l'action de ces rayons ainsi que des rayons X et γ sur les autres substances (isolants semi-conducteurs et gazeux). Profitant de cette analogie, nous avons appliqué au quartz la théorie suggérée par Rutherford (à propos des gaz ionisés par l'action des rayons X); on en déduit la loi de décroissance de la conductibilité électrique quand on cesse d'irradier la lame. Les valeurs calculées se confondent assez bien avec les données expérimentales; ceci surtout quand la différence de potentiel entre les armatures n'est pas très grande.

D'autre part, nous avons calculé approximativement la somme des mobilités des ions du quartz; on obtient, en effet, des nombres de l'ordre des distances intermoléculaires, à peu près les mêmes que ceux obtenus par A.-F. Joffé en se servant de l'équation logarithmique suivante :

$$\log D = a + \frac{b}{T},$$

où D est la somme des mobilités et a et b sont des constantes.

a. La loi de décroissance. — Soient i l'intensité de charge par unité de surface, l l'épaisseur de la lame, ε la charge de chaque ion; le nombre des particules qui perdent leur charge en heurtant les électrodes sera égale à $\frac{i}{l\varepsilon}$; soient n

le nombre des ions libres par unité de volume, q le nombre d'ions qui se libèrent sous l'action des rayons ionisants, αn^2 le nombre d'ions qui disparaît indépendamment du passage du courant; on a, à l'instant t ,

$$(1) \quad \frac{dn}{dt} = q - \alpha n^2 - \frac{i}{l\varepsilon}.$$

Quand on supprime la lumière ($q = 0$) et l'on néglige $\frac{i}{l\varepsilon}$ devant αn^2 , on obtient la loi de décroissance

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2,$$

d'où, en intégrant, on obtient

$$(2) \quad \frac{1}{n} - \frac{1}{N} = \alpha t,$$

où N est le nombre des ions par unité de volume à l'instant $t=0$ et n ce nombre à l'instant t qui est proportionnel à l'intensité du courant au même instant. Nous avons calculé α et N en prenant deux données expérimentales, par exemple, pour

$$(t=0, n=N) \quad \text{et} \quad \left(t=T \text{ et } n=\frac{N}{2}\right);$$

une fois qu'on a déterminé les deux constantes relatives à chaque expérience, on porte les valeurs obtenues dans l'équation (2) et l'on calcule n correspondant à un temps t donné.

Les tableaux suivants donnent les données expérimentales et les grandeurs correspondantes calculées par l'équation (2); on constate que l'écart entre les valeurs calculées et les données expérimentales est très petit et ceci devient assez notable quand on se sert des potentiels plus élevés.

N° 10 (20 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	8	8
3.....	7,5	7,4
9.....	6,2	6,5
15.....	5,4	5,8
24.....	4,5	5
30.....	4,2	4,5
39.....	4	4
48.....	3,8	3,6
60.....	3,4	3,2
$t = 0, \quad t = 39.$ $N = 8, \quad \alpha = 0,0031.$		

N° 10 (30 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	10,6	10,6
3.....	10	10
9.....	9	9
15.....	7,8	8,2
21.....	7	7,5
30.....	6,4	6,7
39.....	5,6	6
48.....	5,3	5,3
60.....	5	5
$t = 0, \quad t = 48.$ $N = 10,6, \quad \alpha = 0,0018.$		

N° 10 (40 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	14	14
6.....	13	12,7
9.....	12	12
15.....	11	11
30.....	9	9,3
45.....	7,8	8
60.....	7	7
$t = 0, \quad t = 60.$ $N = 14, \quad \alpha = 0,0012.$		

N° 13 (60 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	4,2	4,2
6.....	3,1	3
12.....	2,4	2,3
24.....	1,8	1,6
42.....	1,3	1,1
60.....	1,2	0,8
$t = 0, \quad t = 15.$ $N = 4,2, \quad \alpha = 0,0158.$		

N° 13 (90 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0	15,5	15,5
6	11,8	8
12	7	5,4
18	6	4
24	4	3,2
30	3,5	2,7
36	2,5	2,3
48	2,2	1,8
60	2	1,5
$t = 0, \quad t = 13.$ $N = 15,5, \quad z = 0,0099.$		

N° 13 (180 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0	30	30
6	22	20
12	15,5	15,7
18	11,5	12,7
24	9,2	10,7
30	7,5	9,2
36	6,5	8,4
48	5,4	6,5
60	5	5,4
$t = 0, \quad t = 13.$ $N = 30, \quad z = 0,0025.$		

N° 6 (90 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0	29,5	29,5
3	24	26
9	20	21
12	18	20
18	16	17,3
24	15	15
30	14	13,7
36	13	12,4
48	12	10,3
60	11,5	8,9
$t = 0, \quad t = 15.$ $N = 29,5, \quad z = 0,0013.$		

N° 6 (180 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0	58	58
3	47,5	54
6	42	45
12	35,5	36,9
18	31	31
24	28,5	27,1
30	26	23,9
36	25	21,3
42	24	19,3
54	23	16
60	22,5	15
$t = 0, \quad t = 22.$ $N = 58, \quad z = 0,00082.$		

N^o 14 (10 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	16,5	16,5
4.....	14	14
9.....	11	11
15.....	9	9
24.....	7,5	7,5
30.....	7	6,6
42.....	6	5,4
60.....	5,5	4
$t = 0, \quad t = 20.$ $N = 16,5, \quad \alpha = 0,003.$		

N^o 14 (20 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	25	25
3.....	23	22,7
6.....	20,5	20,8
9.....	18,5	19
15.....	16	16,6
21.....	14	14,7
30.....	12	12
42.....	10,5	10
60.....	9,2	8
$t = 0, \quad t = 28,5.$ $N = 25, \quad \alpha = 0,0014.$		

N^o 14 (30 volts).

Temps en minutes.	Courant mesuré.	Courant calculé.
0.....	38	38
3.....	35	35
6.....	31	31
9.....	28	28
12.....	26	26
18.....	23	22,6
24.....	20,4	19,7
30.....	19	17,7
36.....	18	16
45.....	16,5	14
60.....	16	12
$t = 0, \quad t = 30.$ $N = 38, \quad \alpha = 0,00087.$		

b. La somme des mobilités. — Soient E la différence de potentiel entre les armatures, U la somme des mobilités des ions; on a

$$i = n \varepsilon U \frac{E}{l},$$

où i , n , ε et l sont les mêmes que dans le paragraphe précédent; en tirant n de cette dernière équation et portant dans l'équation

$$q - \alpha n^2 - \frac{i}{l \varepsilon} = 0$$

(quand l'état presque stationnaire est atteint $\frac{dn}{dt} = 0$), on obtient

$$(3) \quad q - \frac{\alpha l^2 i^2}{\varepsilon^2 U^2 E^2} - \frac{i}{l \varepsilon} = 0$$

pour

$$E = \infty \quad \text{on a} \quad i = q l \varepsilon = I;$$

un calcul simple montre que

$$(4) \quad \frac{i}{I} = \frac{UET}{l^2},$$

où T est le temps nécessaire pour que le courant diminue de sa moitié à partir de l'instant où l'on cesse d'irradier la lame. Nous avons calculé U , la somme des mobilités, en nous servant de la formule (4), en remplaçant i par le courant en obscurité sous la différence de potentiel E , et I l'intensité du courant sous l'action des rayons ultraviolets au même potentiel E quand le régime presque stationnaire est atteint.

Le Tableau ci-après montre que les valeurs trouvées sont de l'ordre des distances intermoléculaires et très peu différentes de celle obtenue par un autre procédé par Joffé à la température de 17°C .

Remarquons que toutes nos expériences relatives à l'action des rayons ultraviolets sont faites de 18°C . à 20°C .

Numéros de lame.	E (en volts).	T (en secondes).	Épaisseur (en cm).	$\frac{i}{I}$	U (somme des mobilités).
6.....	90	900	0,1	$\frac{7}{29,5}$	$3,50.10^{-8}$
».....	180	1360	—	$\frac{14}{58}$	$1,00.10^{-8}$
10.....	20	2340	0,2	$\frac{1}{4}$	$2,00.10^{-7}$
».....	30	2880	—	$\frac{3}{10,6}$	$1,30.10^{-7}$
».....	40	3600	—	$\frac{4}{14}$	$8,00.10^{-8}$
13.....	60	900	—	$\frac{1}{4,2}$	$1,70.10^{-7}$
».....	90	780	—	$\frac{1,5}{15,5}$	$5,40.10^{-8}$
».....	180	780	—	$\frac{1}{10}$	$8,80.10^{-8}$
14.....	10	1200	0,1	$\frac{4}{16,5}$	$2,00.10^{-8}$
».....	20	1710	—	$\frac{8}{25}$	$0,93.10^{-7}$
».....	30	1800	—	$\frac{12}{38}$	$6,00.10^{-8}$

BIBLIOGRAPHIE.

FOUSSEREAU, *Thèse de Doctorat.*

Jacques CURIE, *Thèse de Doctorat.*

Pierre CURIE, *Rapport à la Société française de Physique*, 1892,
p. 261 et 277.

BOUTY, *Journ. de Phys.*, t. IX, 1890, p. 288.

PELLAT, *C. R. Acad. Sc.*, t. 128, 1899, p. 1312.

RUTHERFORD, *Phil. Mag.*, t. XLIV, 1897, p. 422.

MC CLUNY, *Phil. Mag.*, t. III, 1902, p. 283.

CHRÉTIEN, *Rev. gén. des Sciences*, 1921, p. 605.

RÖNTGEN, *Ann. der Physik*, t. 64, 1921, p. 195.

VAILLANT, *C. R. Acad. Sc.*, t. 171, 1920, p. 713; t. 177, 1923,
p. 637; t. 182, 1926, p. 1335.

JAPPÉ, *Ann. der Physik*, t. 72, 1923, p. 461.

A. JAFFÉ, *Rapport au Congrès international de Physique* (Solvay),
1924.

A. JAFFÉ, *Rapport à la Réunion internationale de Chimie physique*,
1933.

A. JAFFÉ, *Actualités scientifiques et industrielles*, t. 202 (Herman).

Vu et approuvé :

Paris, le 17 janvier 1936.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

CH. MAURAIN.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 17 janvier 1936.

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

S. CHARLÉTY.

SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

La Supraconductibilité

Vu et approuvé :

Paris, le 17 janvier 1936.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
CH. MAURAIN.

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 17 janvier 1936.

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
S. CHARLÉTY.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS
Quai des Grands-Augustins, 55.

103510-36.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

Quai des Grands-Augustins, 55

103510-36
